

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**FOTOGRAFICKÁ PAST PRO MONITOROVÁNÍ ŠELEM  
V BESKYDECH – DETEKČNÍ ČÁST**

**PHOTOGRAPHIC TRAP FOR MONITORING BEAST OF PREY IN  
BESKYDY MOUNTAIN - DETECTION SUBSYSTEM**

**2013/2014**

**MARTIN KRYL**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Kryl**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika  
Téma: Fotografická past pro monitorování šelem v Beskydech - detekční část  
Photographic Trap for Monitoring Beast of Prey in Beskydy Mountain -  
Detection Subsystem

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše - nalezení vhodného senzoru pro detekci šelmy.
2. Návrh a realizace HW pro detekční část fotografické pasti.
3. Návrh a implementace algoritmu pro omezení falešných poplachů.
4. Experimenty pro ověření funkčnosti detekčního zařízení.
5. Zhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PIHAN, Roman. *Mistrovství práce se světlem: průvodce fotografa pro každou světelnou situaci*. Vyd. 1. Praha: Institut digitální fotografie, 2008, 238 s. ISBN 978-80-87155-02-8.
- [2] VAN SICKLE, Ted. *Programming microcontrollers in C*. 2nd ed. Eagle Rock, Calif.: LLH Technology Pub., c2001, 454 s. ISBN 1-878707-57-4.
- [3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescal semiconductor* [online]. 2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Konečný**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Jaromíru Konečnému za podnětné rady a ochotný přístup. Také bych rád poděkoval mým nejbližším za podporu a za studijní prostor, který mi v době vypracování bakalářské práce poskytl.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že tato práce je mým autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením odkazu na příslušný zdroj.

V Ostravě dne **6. 5. 2014**



.....  
Podpis autora

## **Abstrakt**

Předmětem bakalářské práce je realizace senzorické části fotopasti, jenž je přizpůsobená pro monitorování zvěře v Beskydských lesích. Práce zahrnuje rozbor fyzikálního principu funkce PIR čidla, řešení v oblasti PIR senzorů, zmapování falešných poplachů způsobených přírodními vlivy, návrh algoritmu pro jejich potlačení a v poslední fázi implementaci algoritmu do řídicího obvodu.

## **Klíčová slova**

Fotografická past, pyroelektrický jev, PIR čidlo, falešné poplachy, Arduino, LabVIEW, Freescale

## **Summary**

The subject of the bachelor thesis is the implementation of a sensor part of a phototrap, which is adjusted to monitor wild animals in the forests of Beskydy. The thesis includes an analysis of a physical principle of the function of a PIR detector, a research in the area of PIR sensors, mapping of false alarms caused by natural causes, a proposal of an algorithm for their reduction and lastly the implementation of the algorithm in a control circuit.

## **Key words**

Photografic trap, pyroelectric phenomenon, PIR sensor, false alarms, Arduino, LabVIEW, Freescale

## **Seznam použitých symbolů a zkratk**

PIR	passive infrared (pasivní infračervený)
HP	horní propust
DP	dolní propust
HKU	horní komparační úroveň
DKU	dolní komparační úroveň
USB	universal serial bus (univerzální sériová sběrnice)
TTL	transistor-transistor logic (tranzistorově-tranzistorová logika)
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (univerzální asynchronní přijímač a vysílač)
VI	virtual instrument (virtuální nástroj)

# Obsah

1 Úvod .....	1
2. Teoretický rozbor .....	2
2.1 Zadání požadavků .....	2
2.2 Možnosti snímání pohybu .....	3
2.2.1 Tlaková podložka .....	3
2.2.2 Infračervená závora .....	4
2.2.3 PIR sensor .....	4
2.3. Pyroelektrický efekt .....	4
2.4 Konstrukce čidla .....	6
2.5 PIR čidla – průzkum trhu .....	8
2.6 PIR sensor – průzkum trhu .....	9
2.7 PIR sensor – výběr .....	10
2.8 PIR sensor – Analýza elektronické části .....	11
2.8 Návrh úložného pouzdra .....	15
3. Návrh a implementace algoritmu pro omezení falešných poplachů. ....	18
3.1 Sběr dat .....	18
3.1.1 Seznámení s LabVIEW .....	18
3.1.1 Programování v LabVIEW .....	18
3.1.2 Hardware pro měření .....	18
3.1.2 Arduino .....	19
3.1.3 Rozhraní .....	19
3.1.4 Popis měřicí aplikace .....	20
3.2 Analýza signálu při běžných podmínkách .....	23
3.3 Správné umístění fotopasti .....	26
3.4. Analýza falešných poplachů a možnost jejich potlačení .....	26
3.4.1 Falešný poplach způsobený osvitom .....	27
3.4.2 Falešný poplach způsobený slabým větrem – krátký výkyv .....	28
3.4.3 Falešný poplach způsobený slabým stálým větrem – Fluktuace .....	29
3.4.4 Falešný poplach způsobený silným větrem .....	30
3.5 Vývojový diagram použitých funkcí .....	31
3.6 Implementace algoritmu .....	33

3.6.1 Freedom board kl25z .....	33
3.6.2 Struktura programu.....	34
4. Experimenty pro ověření funkčnosti fotopasti .....	36
5. Zhodnocení a závěr .....	37
6. Použitá literatura a zdroje .....	38
7. Seznam obrázků .....	39
8. Seznam tabulek .....	41
9. Seznam příloh – elektronická příloha.....	42

# 1 Úvod

Relativně novým trendem při monitorování zvěře se stává využití fotopasti, což je speciálně upravený digitální fotoaparát, jenž detekuje pohyb živých objektů, které následně zachytí na fotografii, nebo v krátké videosekvenci. Přístroj také bývá stále častěji používán pro ochranu majetku a to hlavně proto, že je jeho cena příznivější, jak pořízení složitějšího kamerového systému. Tento typ fotopastí ovšem disponuje rozdílným nastavením a jinými komponenty. Bakalářská práce je tedy zaměřena na zařízení určené pro detekci zvěře v přirozeném prostředí.

Na trhu je k dispozici široká škála aparátů, jejichž kvalita a kvantita funkcí stoupá s cenou. Rozdíly mezi základními modely se pak budou lišit v typu osvětlení, rychlosti odezvy, dosahu, rozlišení, kvalitě displeje a objektivu. U modelů s nadprůměrnou cenou se pak můžeme setkat s GSM bránou, ovládáním pomocí sms zpráv a menší spotřebou. Obecně se jejich cena pohybuje mezi 3 000 – 12 000 Kč [1].

Vývoj přístroje byl zadán na zakázku neziskovou organizací Hnutí duha z Olomouce, soustřeďující se na terénní monitoring velkých šelem na území české republiky. Organizace vlastní několik fotopastí, ale ty jsou v některých ohledech nevyhovující, a proto byl vytvořen seznam požadavků vedoucích ke zlepšení funkcionality fotopasti v českých lesích.

První kapitola práce se věnuje rozboru požadavků zadavatele a nástinu jejich řešení.

Na začátku druhé kapitoly jsou uvedeny možnosti snímání pohybu a teoretický rozbor principu funkce vybraného typu čidla. Poté následuje rešerše dostupných čidel na trhu a určení jejich vhodnosti pro implementaci do indikačního modulu. Analýza funkce vybraného senzoru je dalším bodem a v závěru kapitoly je představen návrh úložného pouzdra.

Softwarová a hardwarová realizace je rozebrána v úvodu třetí kapitoly, kde je také popsán způsob měření a jeho kvalita. V další části kapitoly jsou zmapovány děje, jenž se mohou projevit na výstupu senzoru během jeho funkce. Mezi projevy jsou zahrnuty i falešné poplachy, u kterých lze nalézt návrh algoritmů pro jejich eliminaci. V poslední fázi jsou algoritmy implementovány do řídicího obvodu.

V závěru práce je uvedeno do jaké míry práce splnila požadavky a jakých výsledků bylo dosaženo.



## 2. Teoretický rozbor

V této kapitole je uveden rozbor možností při řešení dílčích požadavků na indikační část, teoretická analýza principu funkce vybraného čidla a řešerše konkrétních komponentů s přihlédnutím na jejich cenovou dostupnost a vhodnost pro implementaci do detekčního modulu.

### 2.1 Zadání požadavků

Tab. 1: Požadavky mající vliv na vývoj indikační části.

1	Dlouhá výdrž baterií:	minimálně 2 měsíce
2	Pracovní teplotní rozsah:	-30°C až 30°C
3	Odolnost:	odolnost proti dešti a dlouhodobému působení přírodních vlivů (výkyvy teplot, sluneční záření, mlha, koroze aj.)
4	Rozsah focení:	základní 1,5 až 6 metrů (nejvyšší kvalita), 6 až 10 m (může být kvalita nižší)
5	Možnosti dočasného omezení vysoké sekvence snímkování – pokud například po pěti minutách bude před kamerou stále pohyb, omezit na další půl hodinu množství snímků/video například max. jedna fotka/video za minutu, aby se zabránilo přeplnění karty v případě pohybu trávy nebo větví při silném větru apod.	
6	Nastavitelný úhel snímání – PIR čidlo s možností nastavení šířky záběru	
7	Možnost připojení externího PIR čidla (možnosti s přihlédnutím na jiné finální parametry)	
8	Co nejmenší a nejkompaktnější těleso vlastní fotopasti, barva přírodní šedozelená (odstín kůry smrku, či buku), jednotlivé barvy na ploše se prolínající s drobnou strukturou napodobující kůru (nejednotná barva celé fotopasti – zvyšuje viditelnost v terénu)	

Dlouhá výdrž baterie je stěžejním bodem při vývoji. Tento požadavek je připomínán při výběru komponentů a má vliv na cenu elektronické části. Odolnost proti povětrnostním vlivům, nestálému počasí a pracovní tepelný rozsah jsou brány v potaz při návrhu úložného boxu, který musí tepelně izolovat elektronickou část, a to proto, že teplotní minimum -30 °C hraničí s operační teplotou čidel. Box bude také obsahovat posuvné clony pro omezení šířky záběru uživatelem. Tato inovace s sebou nese potřebu testovacího módu, kdy si uživatel může zmapovat pozorovací úhel a dosah spouštěcího mechanismu. Samotný dosah je pak určen citlivostí čidla a nastavením zesilovací části senzoru. Citlivé nastavení na sebe váže ten problém, že zesilovány jsou i falešné poplachy způsobené větrem nebo od sněhu odraženým slunečním zářením, proto je nezbytné, aby uživatel měl možnost

citlivost přizpůsobit místu instalace. Kromě omezení citlivosti falešné poplachy eliminuje i vhodně navržený algoritmus. Možnost připojení externího čidla je brána v potaz, ovšem v případě výměny modulu není možné využívat algoritmus pro omezení falešných poplachů. Návrh vzoru kamufláže pro zneviditelnění fotopasti v terénu je uveden v návrhu pouzdra a v příloze.

## 2. 2 Možnosti snímání pohybu

Pro snímání pohybu či přítomnosti živých objektů se v naprosté většině případů jako snímací element používá PIR čidlo, ovšem může nastat situace, kdy bude tento typ senzoru relativně nespolehlivý a dříve než se rozbořem funkce PIR čidla, budou uvedeny výjimky, které jsou nabízené například firmou Pixcontroller. [2]

### 2. 2.1 Tlaková podložka

Pohyb je zaznamenán tehdy, zatíží-li objekt podložku vlastní vahou. Tento typ bývá použit na frekventovaných úzkých stezkách či při monitorování malých šelem a hlodavců ve skryších či norách [2]. Jako mechanicko-elektrické převodníky zde může být použit tenzometr:

#### Odporový tenzometr

Při mechanickém napětí, působícím na podložku, se mění geometrické rozměry a s nimi i krystalografická struktura materiálu. V úvahu je zde brán Hookuv zákon:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (1)$$

vyjadřující závislost mechanického napětí  $\sigma$ , relativního prodloužení:

$$\varepsilon = \Delta l / l \quad (2)$$

a modulu pružnosti  $E$ . Změna geometrického rozměru se projeví změnou elektrického odporu  $R$  daným měrným odporem  $\rho$ , délkou  $l$  a průřezem.

$$R = \rho \frac{l}{S} (\Omega) \quad (3)$$

#### Kapacitní tenzometr

Podložka se skládá ze dvou elektricky vodivých ploch, tvořících elektrody kapacitoru. Ty jsou odděleny úzkou fólií. V případě stlačení se zmenší vzdálenost elektrod a dle níže uvedeného vzorce vzroste kapacita snímače  $C$ .

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \frac{S}{d} (F) \quad (4)$$

kde  $C$  je kapacita

$\varepsilon_0$  je permitivita vakua  $8,854 \cdot 10^{-12}$

$\varepsilon_r$  je poměrná permitivita, tedy podíl mezi permitivitou vakua a daného materiálu

$S$  je plocha elektrod

$d$  je vzdálenost desek

#### Piezoelektrický tenzometr

Je založen na piezoelektrickém jevu, který se objevuje na vhodně upraveném krystalu specifických látek nevlastnících středově souměrnou strukturu. Například křemenný krystal nebo polykrystalická keramika. Po mechanické deformaci se změní polohy nábojů a na okrajích látky se objeví náboj  $Q$ , jehož velikost je rovna součinu piezoelektrické konstanty  $d(\text{SiO}_2 = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot \text{N}^{-1})$  a deformační síly  $F_x$ . [3]

$$Q = d \cdot Fx (C) \quad (5)$$

### 2.2.2 Infračervená závora

Přijímač detekuje světelný paprsek z vysílače. Spoušť sepne v případě jeho přerušení. Použití je omezené pouze pro uzavřené prostory, a to proto, že paprsek mohou přerušit objekty nesené větrem, či padající listí [2].

### 2.2.3 PIR sensor

Kvůli jednoduchosti, velkému dynamickému rozsahu a především ceně se PIR čidlo u výrobců fotopastí těší největší popularitě. Také je hlavním předmětem bakalářské práce, proto bude jeho princip funkce a popis konstrukce detailně rozebrány.

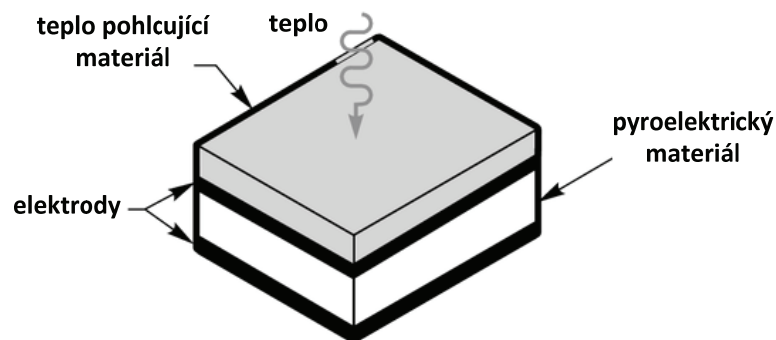
Jak je známo, povrchy těles teplejších jak absolutní nula ( $-273,16^{\circ}\text{C}$ ), vyzařují elektromagnetické vlnění probíhající prostorem světelnou rychlostí. Délka infračerveného vlnění zabírá oblast spektra mezi  $0,75 - 100 \mu\text{m}$ , ovšem většina praktických měření se pohybuje kolem  $20 \mu\text{m}$ , což je i tento případ, kde postačuje citlivost indikátoru v rozsahu  $4 - 16 \mu\text{m}$  (tělo zvířete vyzařuje elektromagnetické vlnění o přibližné délce  $9 \mu\text{m}$ ). Spektrální omezení bývá realizováno filtrem, který je neoddělitelně zabudován do pouzdra snímače. [3]

Při radiaci dochází k předávce tepla a na tu mohou teoreticky reagovat termočlánky, termistory a pyroelektrické materiály. Termočlánky a termistory jsou určeny pro měření vyšších teplot a pouze pyroelektrické materiály vykazují vhodné vlastnosti. Proto se v praxi s jiným typem fyzikálně- elektrického převodu u PIR čidel nesetkáme. [3]

## 2.3. Pyroelektrický efekt

Pyroelektrické materiály jsou krystalické látky umožňující vytvoření elektrického náboje v závislosti na tepelném toku. Pyroelektrický jev úzce souvisí s piezoelektrickým efektem.

Stejně jako piezoelektrické snímače, tak i ty pyroelektrické jsou zhotoveny ve formě úzkých filmů, na jejichž stranách jsou umístěné elektrody pohlcující tepelně indukované náboje. Dá se říci, že se jedná o teplem nabíjený kondenzátor. Samotné čidlo ke své funkci nevyžaduje budicí obvod, ale jeho nevýhoda spočívá v tom, že element dokáže zaznamenat pouze změnu tepla a nedokáže průběžně určovat aktuální teplotu, jak tomu bývá třeba u termočlánku. Navíc je nutno počítat s tím, že signál z elektrod musí být vhodným způsobem zesílen, protože jinak by nebyla změna napětí na výstupu čidla pro řídicí obvod rozeznatelná. [3]



**Obr. 1:** Průřez pyroelektrickým čidlem. [3]

Pyroelektrický materiál si můžeme představit jako velké množství krystalů s náhodnou orientací a každý z nich se chová jako malý elektrický dipól (materiál nevykazuje tuto vlastnost v případě, že je vystaven vyšší jak Curieově teplotě). Samotný pyroelektrický jev je vyvolán několika podněty. Prvním je ten, že tepelné změny zkracují a prodlužují jednotlivé dipóly. Druhý, že tepelné přestupy ovlivňují polohu dipólů a posledním podnětem je výskyt piezoelektrického efektu, který je přítomen kvůli teplotní expanzi materiálu. Náhodná orientace dipólů pak při deformaci způsobené teplem vede k produkci náboje na elektrodě. [3]

Představiteli pyroelektrických materiálů mohou být různé monokrystalické keramické materiály, jejichž pyroelektrické vlastnosti byly objeveny už ve dvacátých letech minulého století. Například ADP ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), KDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), PZT ( $\text{PbZrO}_3$ ),  $\text{PbTiO}_3$ . Na konci sedmdesátých let minulého století byly řady doplněny o plastové materiály PVF a PVDF, které jsou momentálně nejpopulárnější, protože vykazují silný pyroelektrický potenciál. [3]

Základním parametrem pyroelektrického čidla je pyroelektrický koeficient  $p$ , jenž je dán změnou spontánní polarizace  $\Delta P_s$  (jiná formulace průchodu elektrického náboje) za teplotní změnu  $\Delta T$  a jeho vyjádření je definováno vztahem:

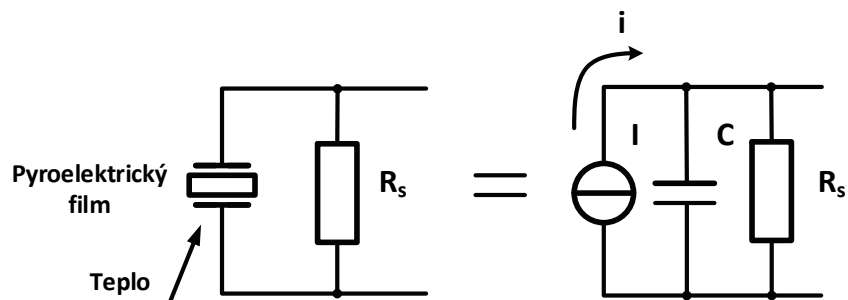
$$P_Q = \frac{\Delta P_s}{\Delta T} \quad (6)$$

hodnota koeficientu se pohybuje v rozmezí  $0,4$  až  $4,2 \text{ C} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . S pomocí spontánního koeficientu lze spočítat naindukovaný náboj pomocí rovnice:

$$\Delta Q = S \cdot P_Q \cdot \Delta T \quad (7)$$

kde  $S$  je plocha elektrod.

Náhradní schéma pyroelektrického krystalu lze vidět na obrázku 2, kde je znázorněn směr průchodu proudu v případě přivedení záření na elektrodu. Ve schématu je čidlo připojeno na rezistor  $R_s$  prezentující vnitřní svodový odpor. Výstupní signál může být z čidla brán buďto ve formě proudu (posloupnost elektrického náboje), nebo v napětí. To závisí na účelu. [3]



**Obř. 2** Náhradní elektrické schéma pyroelektrického filmu. [3]

Procházející proud lze vypočítat vztahem:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{S \cdot P_Q \cdot \Delta T}{\Delta t} \quad (8)$$

Pro výpočet změny napětí je pak brán v úvahu vzorec pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru uvedený ve vzorci 2.2.

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = P_Q \cdot \Delta T \frac{d}{\epsilon_o \cdot \epsilon_r} \quad (9)$$

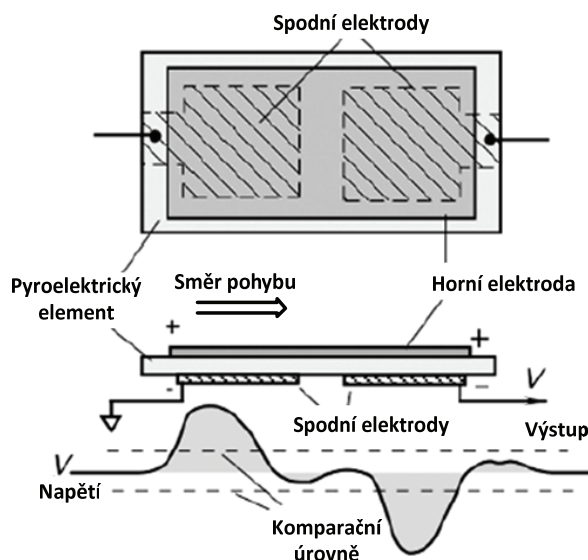
Závislost výstupní veličiny na teplotě se od jednotlivých materiálů bude lišit, ovšem její průběh bude nelineární. Křivka bude mít hyperbolický charakter. Co se týká pyroelektrického koeficientu, ten bude stoupat se zvyšující se teplotou. Největší nárůst pak lze očekávat před Curierovou teplotou materiálu. Po jejím překročení materiál trvale ztrácí pyroelektrické vlastnosti. [3]

## 2.4 Konstrukce čidla

Pro správnou funkci senzoru musí být potlačen piezoelektrický efekt, způsobený expanzí při teplotních změnách okolního prostředí. Toho je docíleno symetrickou konstrukcí čidla s párem spodních elektrod, zobrazené na obrázku 2.3. V této podobě na oba elementy působí stejná teplota okolí a jejich napěťový potenciál se tím vyrovnává. Verze určená pro stropní montáž obsahuje páry dva, jelikož objekt pohybující se po vertikální symetrické ose nemusí čidlo se dvěma elektrodami detekovat. V případě použití více párů elementů a vhodně navrženého algoritmu lze určit směr pohybu těles. [3]

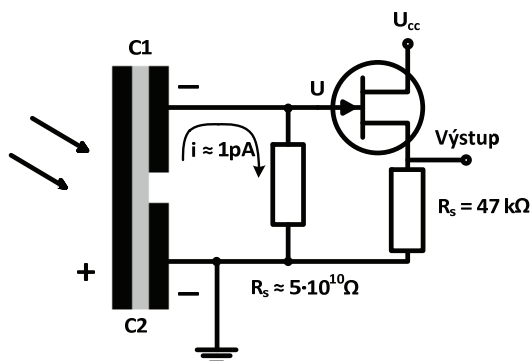
Pod samotným obrázkem je zobrazena reakce na změnu polohy objektu a to z levé strany do pravé. Při prvotní změně teploty je na levém elementu indukován náboj, který je po krátkém čase srovnán ohřevem způsobeným energetickými změnami uvnitř pyroelektrického materiálu. Jakmile objekt přejde do zorného pole pravého elementu, indukuje se na elektrodách náboj opačné polarity, který je po chvíli vykompenzován stejným principem. V případě, že objekt působí na oba elementy zároveň, napěťový potenciál bude vykompenzován (na obrázku mezi špičkami). [3]

Dále je nezbytné, aby byl senzor zkombinován s usměrňovačem světelného toku z konkrétní oblasti zorného pole na jeden z elementů. Usměrňovačem může být například parabolické zrcadlo, v praxi se ovšem spíše využívá plastová Fresnelova čočka, protože je levná a lze ji jednoduše tvarově přizpůsobit. Fresnelovy čočky pro PIR čidla jsou z ekonomických důvodů výhradně vyráběny z polyethylenu. [3]



**Obr. 3:** Konstrukce pyroelektrického elementu a demonstrace přechodového děje. [3]

Na obrázku 2.4 je zobrazeno schéma elektrického zapojení čidla. Aby mohla být změna napětí při pohybu rozeznatelná, musí mít vnitřní rezistor velký odpor. V případě, že by proud z pyroelektrického filmu dosahoval 1pA a bylo by zapotřebí tuto událost odlišit napěťovým rozdílem 50 mV, podle Ohmova zákona by hodnota vnitřního odporu měla být  $R = U/I = 50 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-12} = 50 \text{ G}\Omega$ , což je hodnota, která nemůže být připojena přímo na výstup. To je také důvod přítomnosti JFET tranzistoru, sloužícího pro impedanční přizpůsobení. Výstupní odpor se tak pohybuje v řádu k $\Omega$ . [3]



**Obr. 4:** Náhradní schéma elektrického zapojení pro vnitřní uspořádání PIR čidla. [3]

## 2.5 PIR čidla – průzkum trhu

Největší podíl trhu PIR čidel zaujímá čínská firma. Konkrétně se jedná o firmu Haiwang, která trh zásobí čidly s označením D20xx. Jejich předností je cena, pohybující se okolo 40 Kč. Tato řada je nejčastěji používána v interiérových snímačích přítomnosti a dětských hračkách. Jako čidlo v detekční části fotopasti není vhodné především proto, že vyžadují minimální napájecí napětí 3V (k dispozici pouze 3,3V a je vhodné počítat s rezervou). Rozdíly mezi jednotlivými čidly v sérii jsou téměř zanedbatelné a v případě potřeby náhrady na místo, kde není kladen důraz na spolehlivost, by mohlo být nahrazeno za jiné ze stejné rodiny. Ojedinělým případem je čidlo se značením D205B, které má zabudované 4 elektrody. Jeho uspořádání je předurčené ke stropní montáži. [4]

Druhým východoasijským dovozcem je japonská firma Nicera, jejíž čidlo s označením RE200B je populární v širokém spektru nasazení. Jeho kladnou vlastností jsou rozsáhlé pozorovací úhly, ale disponuje velkým poměrem šumu, který je v indikačním modulu fotopasti nežádoucí. [5]

Posledním velkovýrobcem je německá firma Perkin Elmer, jejíž čidla nesou označení LHi xxx. Tyto produkty jsou citlivější než čidla od výše uvedených výrobců. Dalším pozitivem je minimální hranice napájecího napětí 2V, která umožní implementaci čidla do nízko-příkonových zařízení s napájením 3,3 V. V neposlední řadě tyto výrobky vykazují nízký podíl šumu a funkčnost při nízkých teplotách, což jsou parametry splňující požadavky kladené na náš senzor. Nejvhodnějším typem je čidlo s označením LHi 958. Jeho jediný zápor je cena, pohybující se kolem 100 Kč. To je přibližně dvojnásobek až trojnásobek, jak u předchozích modelů. [6]

Na trhu je samozřejmě ještě více výrobců, ale jejich produkce není masová a tak by se koupě několika kusů mohla prodražit až do řádu několika set korun.

Přehled parametrů jednotlivých typů je zobrazen v tabulce 2, jenž je přidaná do složky č. 1 v elektronické příloze. Složka také obsahuje souhrn důležitých parametrů.



**Obr. 5:** Standardní pouzdro pro PIR čidlo je TO-5. [5]

## 2.6 PIR senzor – průzkum trhu

Samotné čidlo slouží pouze pro fyzikálně-elektrický převod. Vyhodnocení stavu, tedy zdali se v zorném poli pohybuje objekt, který má být zachycen, má na starost elektronická část senzoru.

Na trhu lze pořídit bezpočet hotových modulů, které mají elektronickou část odladěnou, ovšem valná většina z nich je určena pro amatérské spotřebitele, kteří nevyžadují spolehlivou funkčnost a dlouhodobou životnost. Moduly běžně disponují dosahem kolem 5 – 6 m, jejich spotřeba se pohybuje řádově v miliampérech a napájecí napětí má rozsah od 3 - 20 V DC. Dále v nich bývá zakomponován fotocitlivý snímač a nastavitelný časovač pro prodloužené sepnutí. Tyto funkce modul předurčují pro nasazení v automatickém osvětlení, hygienickém bezkontaktním spínači, nebo pro přítomnostní snímač. Senzory nejsou vhodné pro venkovní nasazení kvůli absenci pouzdra s příslušným krytím a nespolehlivou funkčností. Cena se pohybuje v řádech desítek až stovek Kč.

Mezi hotová řešení mohou být zařazeny i snímače, jejichž napájení je přizpůsobeno síťovému napětí 230V AC 50Hz, jejichž hlavními rysy jsou robustní kryt (většinou vyhovující krytí IP44 pro montáž na omítku, nebo IP20 pro montáž na strop), spolehlivá funkce, filtrace falešných poplachů způsobených pohybem domácích zvířat (PET imunity) a dosahem pohybujícím se mezi 8 - 12 m. Některé sofistikovanější přístroje mohou obsahovat bezdrátový modul určený pro komunikaci s nadřazeným systémem přes GSM. Na trhu také lze narazit na přístroje kombinované s kamerou či osvětlením. Cena přístrojů se pohybuje v řádu stovek až tisíců korun.

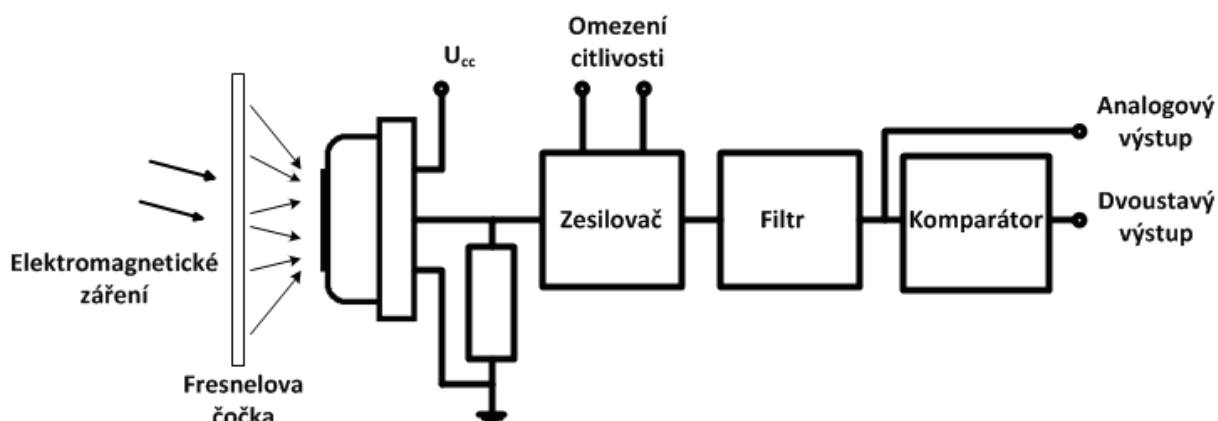


**Obr. 6:** Modul určený pro kutily a snímač určený pro montáž na omítku. [7]



## 2.7 PIR senzor – výběr

Řešení vlastního návrhu bylo založeno na myšlence zkombinování obou výše zmiňovaných typů snímačů v takové míře, aby bylo dosaženo žádaných vlastností s ohledem na přijatelnou cenu. Tyto vlastnosti nabízel vyrobený modul od firmy Hydrogens, který se stal jádrem celého konceptu. Modul není zkonstruovaný pro konkrétní aplikaci. Spíše je to polotovár, obsahující nejnútnejší elektroniku pro vhodnou úpravu signálu z čidla (obrázek 2.7). Klíčové parametry modulu jsou uvedeny v tabulce číslo 3 a kompletní datasheet lze nalézt ve složce č. 2 na elektronické příloze. V datasheetu lze naleznout i schéma zapojení, ovšem hodnoty, které jsou nezbytné pro analýzu funkce chybí, a proto byl senzor rozebrán a popsán v překresleném schématu uvedeném taktéž ve složce č. 2.

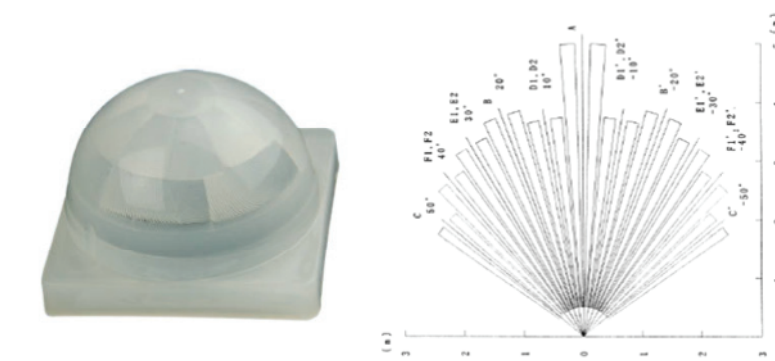


Obr. 7: Blokové schéma senzoru.

Tab. 2: Parametry PIR senzoru.

<b>Napájecí napětí</b>	3 - 5 V	
<b>Odebíraný proud</b>	"H" klidový stav	40μA
	"L" sepnutý výstup	400μA
<b>Dosah</b>	omezitelný	4,6,8,12 m
<b>Zorný úhel</b>	horizontálně	± 50°
	vertikálně	± 30°
<b>Výstupy</b>	Analogový	0V ... Vcc
	Referenční napětí	Vcc/2
	Dvoustavý	max 20mA (Pullup 2k)

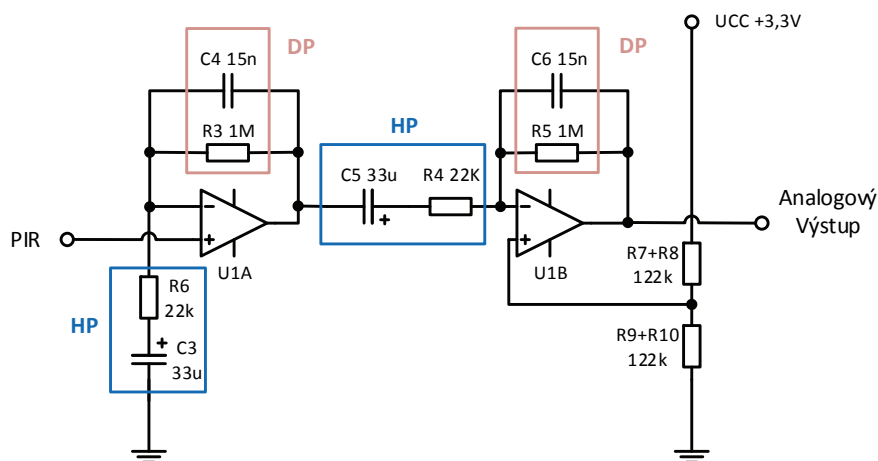
Prvním komponentem v měřicím řetězci je Fresnelova čočka (obrázek 2.5), jejíž funkce byla zmíněna na konci kapitoly 2.3. Její úkol se dá přirovnat k funkci lupy. Usměňuje záření z určité části zorného pole (dále segment) na povrch čidla. Fresnelovou čočkou se tak dá uměle zvětšit zorný úhel. Toto řešení ovšem přináší více mrtvých zón, které se nacházejí na mezích jednotlivých segmentů. Pohyb objektů v těchto zónách pak není zaznamenán. Rozložení segmentů a mrtvých zón pro použitý senzor je zobrazeno na obrázku 2.8. Jmenovité vzdálenosti ovšem musí být brány s rezervou, jelikož dosah senzoru jde zvětšit zesílením signálu z čidla. Při novém návrhu snímače se zesílení signálu musí dimenzovat přímo na daný typ čočky, protože s narůstající ohniskovou vzdáleností čočky se zvětšuje i útlum signálu.



**Obr. 8:** Fresnelova čočka a její pozorovací úhly segmentů v horizontálním směru. [13]

## 2.8 PIR senzor – Analýza elektronické části

Před měřením a analýzou falešných poplachů bylo zapotřebí analyzovat úpravu signálu, aby bylo možné určení vnitřních vazeb a aby nebyla způsobena chyba při měření.



**Obr. 9:** Zesilovací a filtrační blok.

Na obrázku č. 9 je zobrazena elektronická část kombinující zesilovací a filtrační blok, jenž jsou realizovány pomocí neinvertujícího a invertujícího zapojení operačního zesilovače. Filtř je tvořen pásmovou propustí prvního řádu, jejíž mezní kmitočty jsou dány výpočty.

$$f_{DP} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{3(5)} \cdot C_{4(6)}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^{-9}} = 10,6 \text{ Hz} \quad (10)$$

$$f_{HP} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{6(4)} \cdot C_{3(5)}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 33 \cdot 10^{-6}} = 0,2 \text{ Hz} \quad (11)$$

Co se týče zesílení, to je pro každou frekvenci různé kvůli změně reaktance kondenzátorů.

$$Au_{U1A} = 1 + \frac{R_3 + X_{C4}}{R_6 + X_{C3}} \quad (12)$$

$$Au_{U1B} = \frac{R_5 + X_{C6}}{R_4 + X_{C5}} \quad (13)$$

Pro propustné pásmo pak lze vliv reaktancí zanedbat a výsledné zesílení operačních zesilovačů U1A a U1B se dle rovnic č. 14 a č. 15 bude pohybovat kolem 46.

$$Au_{U1A} = 1 + \frac{R_3}{R_6} = 1 + \frac{1 \cdot 10^6}{22 \cdot 10^3} = 46,5 \quad (14)$$

$$Au_{U1B} = \frac{R_5}{R_4} = \frac{1 \cdot 10^6}{22 \cdot 10^3} = 45,5 \quad (15)$$

Ze zapojení, které je uvedeno v příloze lze vyčíst, že omezení dosahu je řešeno změnou parametrů dolních propustí tím způsobem, že se k nim paralelně připojí RC člen. Výrobce do modulu zakomponoval 4 RC členy pro omezení dosahu na 4,5,6 a 8 metrů. Omezení na 5 metrů bylo shledáno zbytečným, a proto zahrnuto nebude. Parametry výsledných hodnot RC členů při volbě omezení jsou vypočteny níže.

$$C_{8m} = C_9 + C_4 = 15 \cdot 10^{-9} + 15 \cdot 10^{-9} = 30 \text{ nF} \quad (16)$$

$$C_{6m} = C_{11} + C_6 = 5,6 \cdot 10^{-9} + 15 \cdot 10^{-9} = 20,6 \text{ nF} \quad (17)$$

$$C_{4m} = C_{10} + C_6 = 33 \cdot 10^{-9} + 15 \cdot 10^{-9} = 48 \text{ nF} \quad (18)$$

$$R_{8m} = \frac{R_{15} \cdot R_3}{R_{15} + R_3} = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^6} = 0,5 \text{ M}\Omega \quad (19)$$

$$R_{6m} = \frac{R_{17} \cdot R_5}{R_{17} + R_5} = \frac{2,7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^6} = 0,73 \text{ M}\Omega \quad (20)$$

$$R_{4m} = \frac{R_{17} \cdot R_5}{R_{17} + R_5} = \frac{470 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6}{470 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^6} = 319,7 \text{ k}\Omega \quad (21)$$

Po dosazení hodnot vypočtených hodnot do rovnice č. 10 lze zjistit, že zapojené omezení dosahu se neprojeví na změně horního mezního kmitočtu, ale pouze změnou zesílení signálu. Velikost zesílení pro jednotlivá omezení jsou uvedena níže.

$$Au_{U1A-8m} = 1 + \frac{R_{8m}}{R_6} = 1 + \frac{0,5 \cdot 10^6}{22 \cdot 10^3} = 23,7 \quad (22)$$

$$Au_{U1B-6m} = \frac{R_{6m}}{R_4} = \frac{0,73 \cdot 10^6}{22 \cdot 10^3} = 34,2 \quad (23)$$

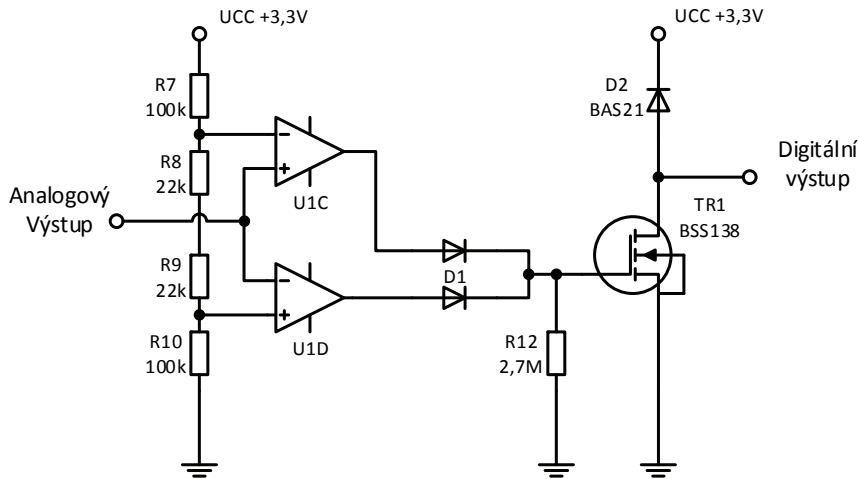
$$Au_{U1B-4m} = \frac{R_{4m}}{R_4} = \frac{319,7 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} = 14,5 \quad (24)$$

Posledním procesem zesilovacího a filtračního bloku je superponování střídavého signálu o stejnosměrné napětí přivedené na neinvertující vstup zesilovače U1B. Tohle napětí je určeno odporovým děličem složeným z rezistorů  $R_7, R_8, R_9, R_{10}$ .

Jak je patrné z výpočtu č. 25 přítomná stejnosměrná složka je rovna polovině napájecího napětí. K této hodnotě se bude přibližovat napětí analogového výstupu v případě, že se před čidlem neprojeví teplotní změny.

$$U_{U1B+} = U_{cc} \cdot \frac{R_7+R_8}{R_7+R_8+R_9+R_{10}} = 3,3 \cdot \frac{100 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} = 3,3 \cdot \frac{1}{2} = 1,65 \text{ V} \quad (25)$$

Na obrázku č. 10 je znázorněno schéma komparačního bloku, kde porovnávací členy tvoří taktéž operační zesilovače. Operační zesilovač U1C je zapojen tak aby spínal v momentě, kdy hodnota analogového výstupu překročí komparační úroveň (HKU), danou odporovým děličem napětí  $R_7, R_8, R_9, R_{10}$  (4.4). Logika spínání operačního zesilovače U1D je opačná. Spíná v případě, že hodnota analogového napětí klesne pod úroveň (DKU) danou odporovým děličem  $R_7, R_8, R_9, R_{10}$  (4.5). V případě, že je splněna podmínka jednoho z komparátoru, tranzistor TR1 je otevřen a výstup je spojen se zemí.



**Obr. 10:** Komparační blok.

$$U_{HKU} = U_{cc} \cdot \frac{R_7+R_8+R_9}{R_7+R_8+R_9+R_{10}} = 3,3 \cdot \frac{100 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} = 3,3 \cdot 0,59 = 1,95 \text{ V} \quad (26)$$

$$U_{DKU} = U_{cc} \cdot \frac{R_{10}}{R_7+R_8+R_9+R_{10}} = 3,3 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} = 3,3 \cdot 0,41 = 1,35 \quad (27)$$

Přítomnost komparačního bloku není nezbytná. Alternativní možnost by spočívala ve vytvoření komparačních funkcí v programu řídicího obvodu. Tato možnost by redukovala příkon snímače, ovšem nemohla by být dodržena objednatelem žádaná modularita. V každém případě fakt, že každý typ PIR modulu má jiné dynamické vlastnosti, eliminuje možnost využití algoritmu pro omezení falešných poplachů při použití jiného modulu. Například výrobce Nicera v datasheetu uvádí demonstrační zapojení, kde je implementován dolnoproustní filtr s mezním kmitočtem 6 Hz. Zmenšení horního mezního kmitočtu by sice omezilo reakce na falešné poplachy způsobené rychlou teplotní změnou (osvětlení, rychlý nárazový vítr), ale odezva na pohybující se objekt by byla zpožděná řádově o stovky milisekund. [5]

Hodnoty vypočtené v analýze elektronické části jsou mírně zkreslené. To je způsobeno počítáním s ideálními součástkami, jejichž parametry (odpor, kapacita) jsou dány jmenovitou hodnotou. Ve skutečném návrhu jsou parametry součástek dány řadou, která určuje, jak moc se mohou jmenovité hodnoty lišit od skutečných. V senzoru byly implementovány rezistory a kondenzátory s řady E12, jejíž maximální odchylka je 5% jmenovité hodnoty.

Aktivní část modulu se skládá ze 4 operačních zesilovačů, které jsou zakomponovány v pouzdru 14DIP–A/SOP–A nízko-příkonového operačního zesilovače HT9254, jenž je vyráběn firmou Holtek. Klíčové parametry jsou uvedeny v tabulce číslo 4 a datasheet lze nalézt ve složce č.2 na elektronické příloze.

*Tab. 3: Parametry operačního zesilovače HT9254.*

Napájecí napětí	1,8 - 5,5 V
Odebíraný proud	50μA /zesilovač
operační teplota	- 40 - 85 °C

Napájecí napětí i operační teplota se pohybují v žádaném rozmezí a jediným parametrem, který by mohl zlepšit funkci senzoru snížením příkonu čidla, je velikost odebíraného proudu na zesilovač. Znatelná redukce příkonu by tedy byla možná jedině v případě výměny operačního zesilovače za typ s nižším proudovým odběrem.

Výrobce uvedl, že se příkon senzoru pohybuje kolem 40 μA v neseprnutém stavu, ale při praktickém měření se ukázalo, že při napájecím napětí 3,3 V se tato hodnota pohybuje kolem 100 μA.

Co se týče samotného PIR čidla, modul obsahuje detektor s označením LHi 878 (PERKINELMER), který má téměř shodné parametry jako favorizované čidlo LHi 958. Daný typ nedisponuje širokým zorným úhlem (oproti výrobkům konkurence), ale je dostačující, jak je rozvedeno v kapitole 2.8. Klíčové parametry čidla jsou uvedeny v tabulce číslo 5 a celkový datasheet lze nalézt ve složce č.2 na elektronické příloze. [6]

*Tab. 4: Parametry PIR čidla LHi 878.*

Napájecí napětí	2 - 15 V
Horizontální zorný úhel [°]	95
Operační teplota [°C]	-40 - 85

## 2.8 Návrh úložného pouzdra

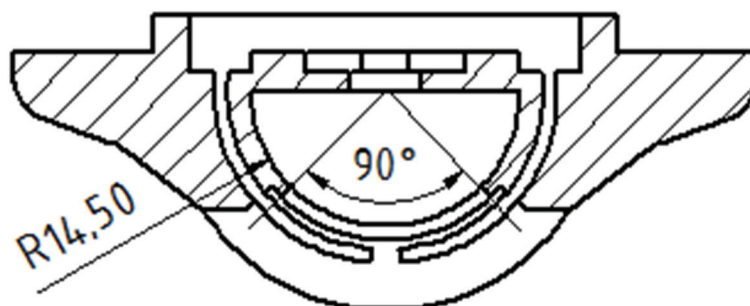
Samotný modul nelze použít ve venkovních podmínkách bez krytu, a proto byl vytvořen návrh úložného pouzdra (obrázek 3.1), jehož hlavním úkolem je ochrana proti nepříznivým přírodním vlivům a tepelné odizolování elektroniky třímilimetrovou stěnou v nejužším místě. Dalším důležitým aspektem je možnost omezení zorného pole pomocí clonek, které se mohou nezávisle pohybovat v drážkách a to až do středové zarážky. Touto inovací lze dosáhnout omezení z  $90^\circ$  na  $10^\circ$ . Prvotní myšlenku lze hledat u zadavatele, který byl kvůli absenci podobného mechanismu nucen přelepovat Fresnelovu čočku lepicí páskou. Přítomnost omezení zorného pole jak clonami, tak zesílením signálu s sebou přináší i potřebu testovacího módu, kdy si uživatel bude moci zmapovat snímáný prostor. K tomu účelu je pod snímací částí přichystaný výřez dimenzovaný na 5mm LED diodu. V testovacím módu bude vyřazena spoušť fotoaparátu a uživateli bude pomocí diody signalizováno snímání pohybu. Přizpůsobení zorného pole pro každou lokaci je preventivním opatřením proti falešným poplachům.



**Obr. 11:** Návrh pouzdra.

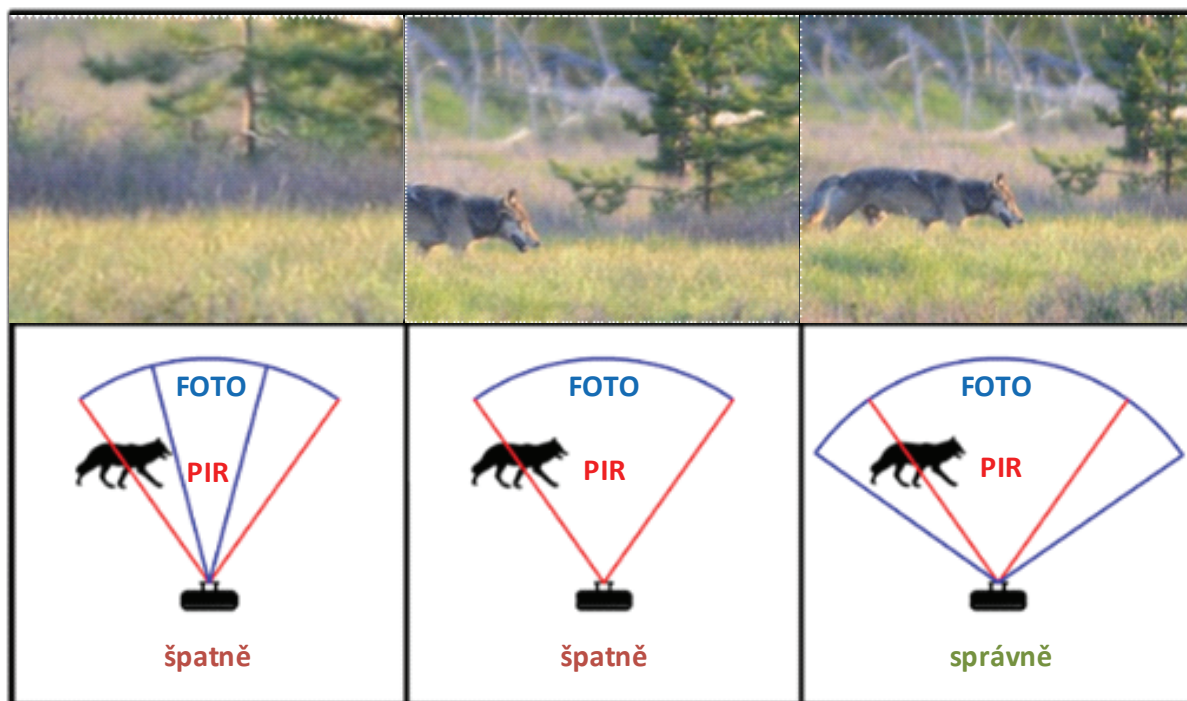
Celé pouzdro je koncipované modulárně, přičemž spojení s řídicím boxem lze zajistit pomocí čtyř šroubů 3Mx10. V elektronické příloze (složka č. 3) je k dispozici jak návrh jednotlivých součástí ve formátu .ipt, tak složení celé sestavy ve formátu .ipa. Návrh byl vytvořen pomocí geometrických vazeb v programu Autodesk Inventor 2014 a v případě potřeby jiného typu mechanického spojení není problém pouzdro novému návrhu přizpůsobit.

V případě možnosti 3D tisku je kvůli finančním možnostem dobré vědět, že celkový objem tělesa je  $44,2 \text{ cm}^3$ . V příloze je také přiložen vzor smrkové kůry pro zneviditelnění aparátu v terénu před zloději a vandaly. Tento typ kamufláže je aplikován i na zobrazeném modelu (obrázek 3.1).



**Obr. 12:** Půdorys pouzdra v řezu.

Při implementaci senzoru do fotopasti nesmí být opominut také fakt, že zorný úhel objektivu fotoaparátu musí být o několik stupňů menší jak zorný úhel čidla. Kdyby tomu bylo naopak, senzor dá řídicí jednotce informaci o pohybu dříve, než bude objekt přítomen v zorném poli objektivu a nebude vyfocen (obrázek 3.3 vlevo). Doporučuje se, aby zorný úhel senzoru pohybu byl minimálně o 10 stupňů menší jak zorný úhel objektivu (zvíře dlouhé 1,5 m ve vzdálenosti 6 m). To z toho důvodu, aby byl objekt na snímku zachycený celý a ne jenom jeho část (obrázek 3.3 uprostřed). Ovšem podle zkušeností dosažených při měření v terénu je nejvhodnější si zorný úhel prakticky vyzkoušet na místě, protože pro pohyb na mezi zorného úhlu čidla nemusí být teplotní změna dostatečně velká na to, aby zesílený signál dosáhl komparační úrovně.



**Obr. 13:** Natavení zorného úhlu fotoaparátu a snímače.

Kvůli výše uvedenému faktu, tedy clonám přibude další funkce – adaptace zorného pole. Dle slovní dohody s objednavatelem bude přístroj koncipován tak, že bude možné fotografické těleso vyměnit.

S novým přístrojem přichází i změna velikosti zorného úhlu, což je parametr, který v katalogu prodejce standardně nebývá uveden, a proto musí být přepočítán z rozměrů fotografických čipů a ohniskových vzdáleností čoček. Běžně se nesetkáme s uvedením rozměru čipu v mm, ale s označením v palcích. V tabulce 6 jsou uvedeny nejrozšířenější rozměry čipů v palcích a jejich převod na šířku a výšku v mm. [8]

Tab. 5: Přepočet rozměrů čipů.

Typ čipu	Rozměry (mm)	
	Šířka	Výška
1/3.6"	4	3
1/3.2"	4,536	3,416
1/3"	4,8	3,6
1/2.7"	5,371	4,035
1/2.5"	5,76	4,29
1/2.3"	6,16	4,62
1/2"	6,4	4,8
1/1.8"	7,176	5,319
1/1.7"	7,6	5,7
2/3"	8,8	6,6

Dalším nezbytným parametrem pro výpočet je ohnisková vzdálenost, tedy jak daleko je vzdálený čip od čočky. V automatických fotoaparátech se tato vzdálenost při ostření mění.

Pro demonstraci je použit automatický fotoaparát Panasonic Lumix DMC-LS2. Podle parametrů výrobce má přístroj zabudovaný čip o velikosti 1/2,5" (šířka 5,76 mm, výška 4,29 mm) a jeho ohnisková vzdálenost je spojitě měnitelná od 5,8 do 17,4 mm. Z těchto parametrů se musí vycházet ve výpočtu. Pro vybrané ohniskové vzdálenosti jsou výpočty hodnot zorných úhlů k dispozici v tabulce číslo 7, která nás informuje o velikosti omezení zorného úhlu pro danou ohniskovou vzdálenost. [9]

$$\text{Zorný úhel objektivu} = 2 \cdot \arctg\left(\frac{d}{2 \cdot f}\right) [^\circ] \quad (28)$$

kde  $d$  je uvažovaný rozměr senzoru [mm]

$f$  je ohnisková vzdálenost objektivu [mm]

Tab. 6: Vypočtené zorné úhly pro různé ohniskové vzdálenosti fotoaparátu Lumix DMC-LS2.

Ohnisko (mm)	5,8	6,6	7,4	8,2	9	9,8	10,6	11,4	12,2	13	13,8	14,6	15,4	16,2	17	17,8
Zorný úhel (°)	53	47	43	39	35	33	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18



### 3. Návrh a implementace algoritmu pro omezení falešných poplachů.

V této kapitole bude rozebírána softwarová, hardwarová realizace pro sběr dat, analýza výstupního signálu při běžných podmínkách a v přítomnosti objektu, výčet možných falešných poplachů, jejich charakteristika a možnost jejich potlačení. V poslední řadě pak návrh samotného algoritmu.

#### 3.1 Sběr dat

Chování čidla muselo být zachyceno ve venkovních podmínkách, proto bylo zapotřebí realizovat kompaktní měřicí přístroj, který bude schopen uložit měřený záznam a to nejlépe v takovém formátu, aby nebylo problematické data dále zpracovávat v osobním počítači. Pro měření by byly vhodné jak přenosné osciloskopické měřidla, tak využití prostředků virtuální instrumentace, což je obor zabývající se náhradou měřících přístrojů osobním počítačem. S ohledem na skutečnost, že data, naměřená pomocí nástrojů virtuální instrumentace, mohou být jednoduše zpracována, byla druhá možnost shledána jako vhodnější.

##### 3.1.1 Seznámení s LabVIEW

Softwarová aplikace pro měření byla vytvořena pomocí grafického programovacího jazyka LabVIEW, který je produktem americké firmy National Instruments. Způsob programování zde není strukturován řádkově, ale kód je tvořen pomocí ikon, proto je také jazyk nazýván jako G jazyk (z anglického Graphical language). Hlavní síla tohoto stylu programování spočívá v intuitivnosti. Samotný program připomíná spíše vývojový diagram, a proto se s prostředím rychle seznámí i osoba, nemající žádné zkušenosti s řádkovými programovacími jazyky. LabVIEW je pak pro měření populární zvláště kvůli dispozici komponent určených pro sběr dat a jejich zpracování. [10]

##### 3.1.1 Programování v LabVIEW

Program vytvořený v LabVIEW nese označení VI (virtual instrument). Základními prvky každého VI je čelní panel a blokový diagram. Zatímco v blokovém diagramu jsou naprogramovány vazby mezi prvky a struktura programu, čelní panel slouží jako uživatelské rozhraní, ve kterém uživatel může při běhu programu sledovat veličiny, ukládat data, vkládat parametry atd. Programátor má možnost strukturovat program pomocí takzvaných subVI, kdy je celý program interpretován jako ikona s konektory (obdoba funkce), jenž může být graficky odlišena pomocí vlastního návrhu. Tímto způsobem může být program zpřehledněn a to zejména v přítomnosti opakujících se vzorů kódů. Program kromě bloků obsahuje funkce pro zacyklení programu, nebo například komunikaci pomocí běžných i průmyslových standardů. [10]

LabVIEW nabízí podporu pro všechny počítačové operační systémy.

##### 3.1.2 Hardware pro měření

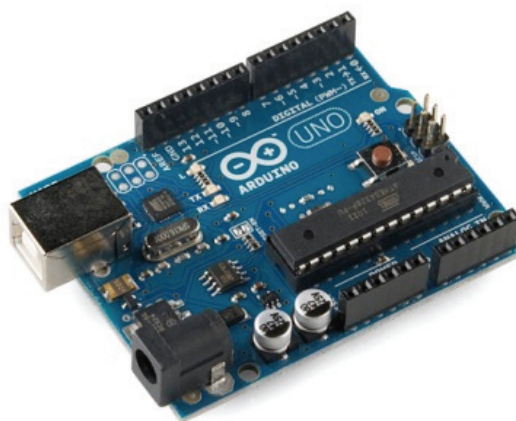
Firma National Instrument zásobí trh širokou paletou měřících karet, které jsou přímo určeny pro měření s LabVIEW, ovšem žádný cenově přijatelný kompaktní model nebyl v době realizace

k dispozici, proto byla pro měření použita platforma Arduino UNO, která se těší popularitě především v domácích dílnách. Tento fakt nenechali stranou ani programátoři LabVIEW a pro Arduino vytvořili knihovny s jejichž pomocí lze mikrokontrolér programovat s podobně koncipovanými funkcemi, jak tomu je u měřicích karet. Expert, který se v oblasti měření signálu orientuje, může namítat, že tohle řešení neposkytuje ani zdaleka srovnatelnou kvalitu měření jak je tomu u měřicích karet, což nelze vyvrátit, ovšem když je vzato v potaz to, že algoritmus bude v konečné fázi testován na platformě Freescale Freedomboard KL25Z, jejíž analogové vstupy mohou být parametrizované shodně, jak tomu je u Arduina, řešení lze brát jako postačující.

### 3.1.2 Arduino

Jedná se o projekt, jenž měl za cíl vytvořit vývojovou platformu určenou zejména pro studenty a domácí kutily. Projekt se specializoval na rychlý vývoj aplikace bez potřeby rozšířených znalostí v dané problematice, čemuž byl přizpůsoben i jazyk zvaný wiring, založený na základech programovacího jazyka C++. Bylo navrženo několik typů desek Arduina, které se liší rozměry a typem implementovaného mikrokontroleru. Srdcem Arduina Una, jenž bylo použito pro měření, je 8-bitový mikrokontroler pocházející z rodiny AVR výrobce Atmel. [11]

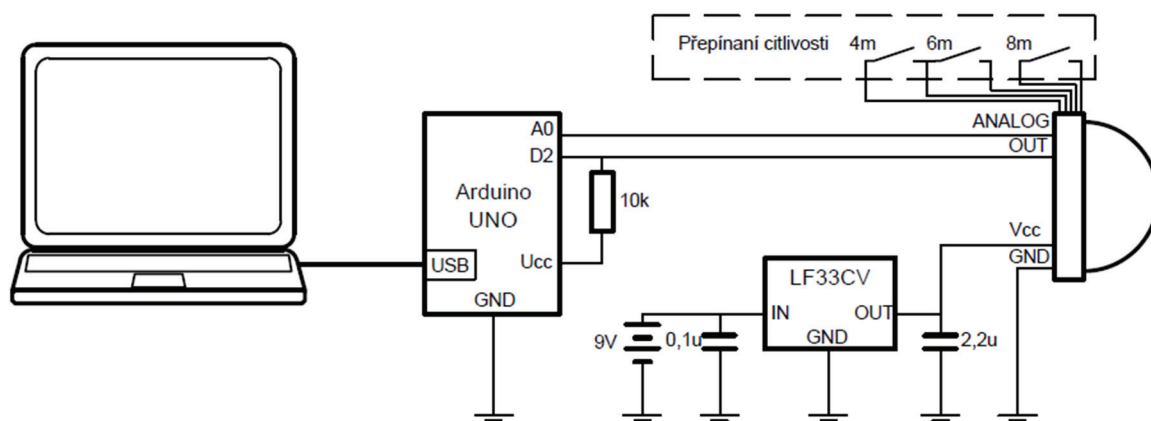
Před připojením Arduina k LabVIEW je zapotřebí pomocí VI Package manageru stáhnout knihovnu s funkcemi. Do samotného Arduina pak musí být pomocí standardního programovacího prostředí nahrán program LIFA base, jenž umožní komunikaci mezi softwarem a Arduinem. Nezbytné je také stažení balíčku ovladačů NI-VISA, který je poskytován firmou National Instruments. [10]



**Obr. 14:** Arduino UNO [11]

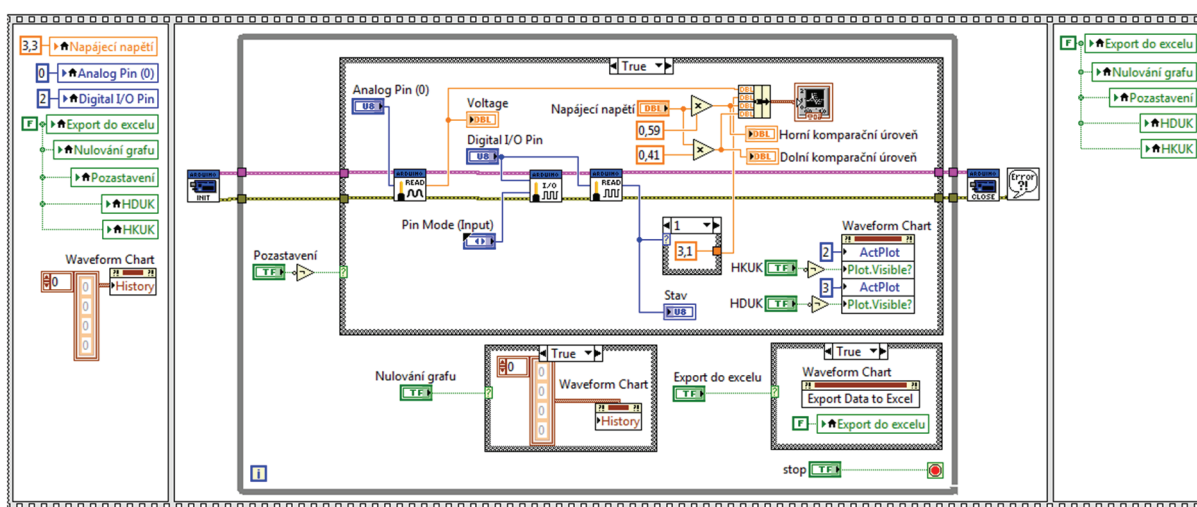
### 3.1.3 Rozhraní

Každá platforma Arduina disponuje minimálně jedním sériovým portem, známým také jako UART (zkratka pro univerzální asynchronní přijímač/vysílač). Komunikace pak probíhá přes piny označené jako Rx (příjem) a Tx (vysílání) na napěťových úrovních TTL. Tato úroveň musí být přizpůsobena buď komunikačnímu standardu RS232 (pro starší počítače), nebo USB portu v případě přenosných počítačů. Pro USB je nutné vytvořit virtuální sériový port pomocí ovladačů. Takto vytvořený port bývá označován jako COM port. [11]



Obr. 15: Zapojení prvků při měření.

### 3.1.4 Popis měřicí aplikace



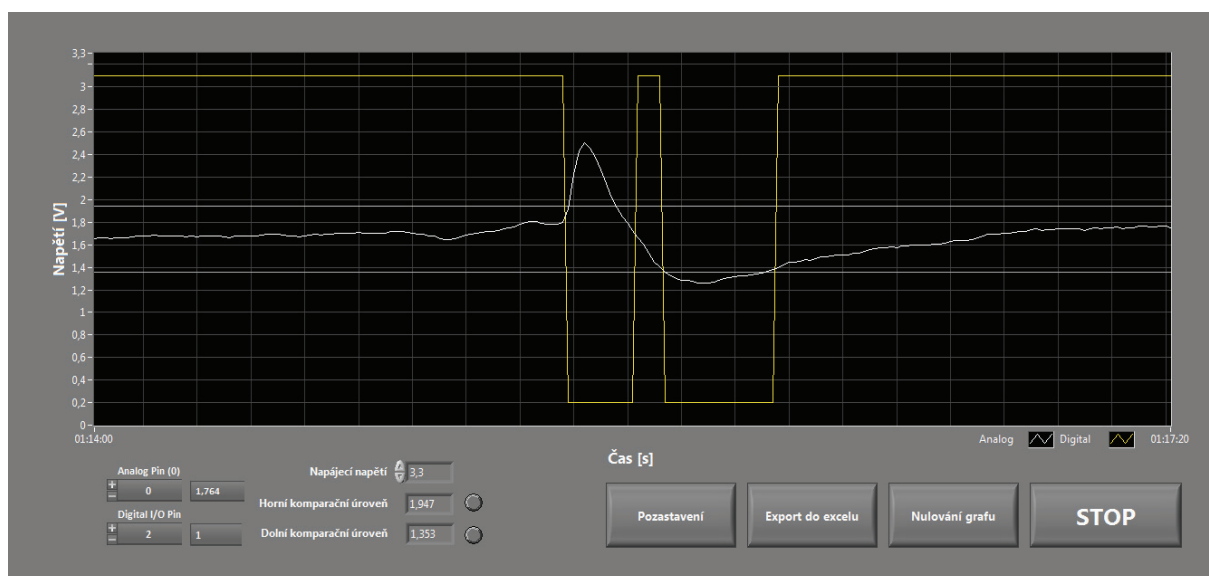
Obr. 16: Blokový diagram měřicího programu.

Základním řídicím prvkem blokového diagramu je sekvenční struktura rámuje všechny části. Tato funkce slouží pro určení pořadí jednotlivých úkonů a to tak, že jednotlivé sekvence jsou vykonávány postupně z levé strany do pravé.

V první sekvenci je obsaženo nastavení výchozích hodnot. A tedy nastavení hodnoty napájecího napětí (standardně na 3,3V). Dále se nastaví hodnota vstupních pinů, nesoucích modré označení. Pro analogový vstup je pin označený jako 0 a digitální má označení 2. Zelené ikonky, znázorňující tlačítka, jsou vymáčkuty pomocí konstanty False. Pokud by tomu tak nebylo, funkce by se mohly spustit hned po startu programu (záleží na tom, v jakém stavu zůstávají tlačítka při vypnutí). Posledním úkonem v první sekvenci je vynulování grafu.

Druhá sekvence začíná inicializací Arduina. Jeho spojovací vodiče pak pokračují do nekonečné smyčky, obsahující 3 struktury typu case. Každá z nich je napojena na jedno z tlačítek a funkce v nich obsažená je vykonána pouze v případě, že je na vstup (okénko se zeleným otazníkem na levé straně struktury) přivedena logická 1 (true). Pro logickou 0 (false) jsou okénka prázdná. U tlačítka pro pozastavení běhu je pak negační člen, který logiku invertuje. Hlavní měřicí řetězec lze nalézt v nejobsáhlejší struktuře typu case, jejíž funkce jsou prováděny postupně z levé strany do pravé. Po načtení hodnoty z analogového pinu 0 se nastaví vstupní mód digitálního pinu 2 a následně je z něj načtena aktuální hodnota, která je přizpůsobena rozsahu grafu (jinak by nabývala hodnot 0,1) tak, aby bylo zřejmé, ve kterém časovém okamžiku analogová hodnota přesáhla komparační úroveň. V pravém horním rohu je funkce pro vykreslení hodnot do grafu v časové závislosti. Funkci jsou kromě analogové a digitální hodnoty předány hodnoty komparačních úrovní, které jsou odvozeny z napájecího napětí. Po ukončení nekonečné smyčky stiskem tlačítka stop je ukončena komunikace s Arduinem.

V poslední sekvenci je umístěné opětovné vymáčknutí tlačítek.



**Obr. 17:** Čelní panel měřícího programu programu.

Čelní panel byl vytvořen jednoduše. Dominantním prvkem je graf přizpůsobený délce monitoru s poměrem stran 16 : 9. Zobrazený časový úsek je defaultně nastavený na 3 vteřiny a je prodlužitelný do 17 vteřin. V případě, že žádaný děj nebyl uložen, data nelze zpětně vyvolat. V grafu jsou zobrazeny: hodnota analogového výstupu, hodnota digitálního výstupu a komparační úrovně.

Co se nastavení týče. Uživatel může volit, ze kterých pinů platformy bude program data načítat. Vzhledem k faktu, že v Arduinu v době měření nemůže být nahrán ještě jiný program, tato nastavení slouží spíše pro kontrolu fyzického zapojení. Dále si uživatel může aplikaci přizpůsobit velikosti napájecího napětí senzoru, ovšem prvotně je tato hodnota přednastavená na 3,3 V.

Uživatel také může program pozastavit, ale v momentě kdy měření opětovně spustí, hodnoty začnou být řazeny na poslední pozici a vznikne chyba, projevující se skokovou změnou analogové

veličiny. Uživatel tento nedostatek musí mít na paměti a v případě potřeby může hodnoty v grafu před opětovným spuštěním vynulovat.

Posledním tlačítkem je export dat do excelu. Tabulka z excelu je nastavena jako primární formát, ale v případě potřeby je možno data dále uložit například do souboru binárního, textového, csv, PDF atd.

Uložený signál je vzorkován s frekvencí 100Hz, což je dostačující, protože signál prochází dolnoprostupním filtrem s mezní frekvencí 10Hz. Podle Shannonova vzorkovacího teorému je nutné zvolit vzorkovací frekvenci minimálně dvakrát tak velkou, jako frekvenci nejvyšší harmonické složky měřeného signálu, jinak by nemuselo dojít k přesné rekonstrukci signálu. To znamená, že nejmenší možná zvolená vzorkovací frekvence pro analogový signál ze senzoru musí být větší jak 20, což bylo splněno s rezervou.

Pro představu přesnosti měření je důležité znát velikost kvantizační úrovně. Ta znázorňuje s jakou jemností je v konkrétním časovém okamžiku přiřazena k analogové hodnotě hodnota diskrétní. Ta je určena počtem bitů  $n$  A/D převodníku (Arduino má 10bitový převodník) a měřicím rozsahem  $U$  (standardně nastavený na 5V). Výpočet kvantizační úrovně lze vyjádřit jako:

$$U_{kvant} = \frac{U}{2^n - 1} = \frac{5}{2^{10} - 1} = 4,888 \cdot 10^{-3} V \quad (29)$$

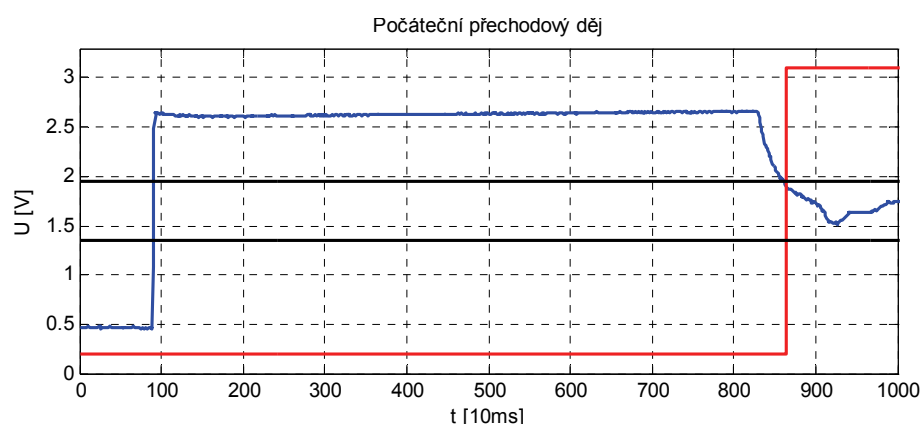
Kvantizační proces je ztrátový a největší možná odchylka od skutečné hodnoty leží přesně mezi kvantizačními úrovněmi. Velikost maximální chyby je tedy přibližně rovna  $U_{err} = U_{kvant}/2 = 2,444 \cdot 10^{-3} V$ .

V posledním bodě by pak mělo být uvedeno, že hodnoty analogového a digitálního vstupu jsou čteny postupně a ne v jednom časovém okamžiku, jak by se při pohledu do tabulky mohlo zdát. Bude to možné postřehnout na místech, kde analogová hodnota protíná komparační úroveň. V některých úsecích je pak reakce digitálního výstupu opožděná. Kvůli tomuto nedostatku by mělo být zdůrazněno, že během měření byl tento fakt brán v potaz a při zpracování dat pro analýzu falešných poplachů bylo počítáno pouze s analogovou hodnotou.

Program použitý pro měření i všechny tabulky, sloužící jako podklad pro analýzu signálu a pro vykreslení níže uvedených grafů, lze ve složce 4, 5 na CD příloze.

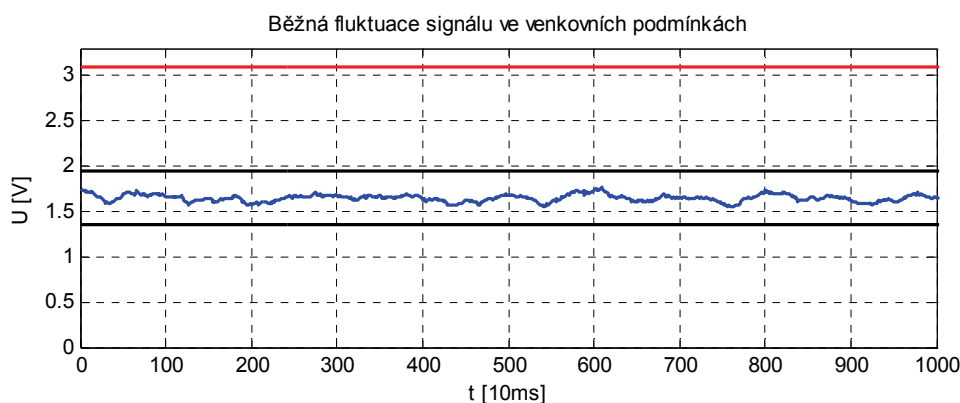
## 3.2 Analýza signálu při běžných podmínkách

Navzdory kladným vlastnostem PIR modul disponuje i nežádoucím jevem, který se projeví hned po připojení k napájení. Jev spočívá v tom, že po dobu 15 až 40 vteřin je digitální výstup nepřetržitě uzemněn a analogový výstup je v saturaci. Tato nežádoucí vlastnost je způsobena nabíjením kondenzátorů. Po jejich dobití se analogová hodnota ustálí mezi komparačními hranicemi a senzor začne fungovat dle předpokladů. V dalším dopadu to znamená, že senzor nemůže být periodicky spínán v krátkém časovém okamžiku, protože by kondenzátory musely být před měřením znova nabity. Senzor musí být napájen nepřetržitě.



**Obr. 18:** Počáteční přechodový děj senzoru.

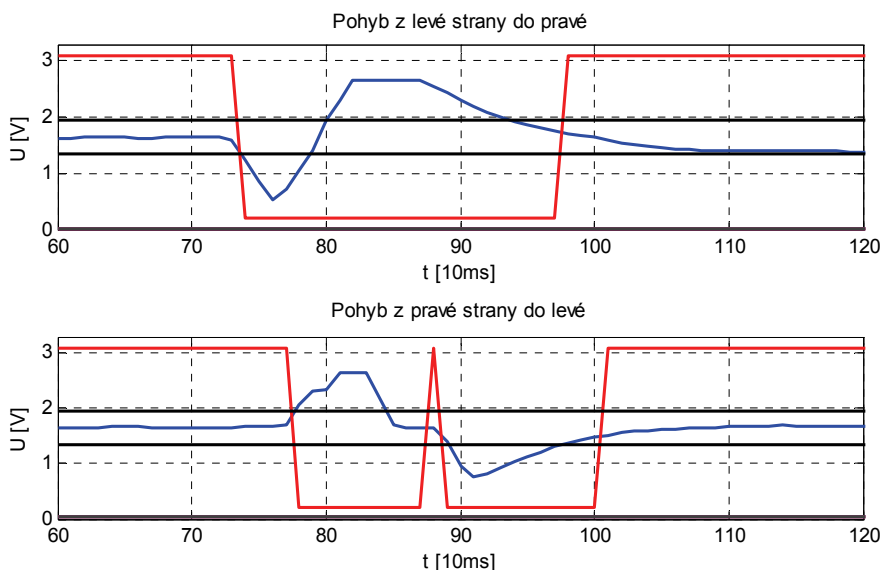
Po nabití kondenzátorů se analogová hodnota sice ustálí mezi komparačními úrovněmi, ale vlivem mírného větru a teplotních výkyvů může být přítomna mírná fluktuace signálu. Při bezvětří tato fluktuace přítomna není.



**Obr. 19:** Reakce senzoru na mírné povětrnostní podmínky.

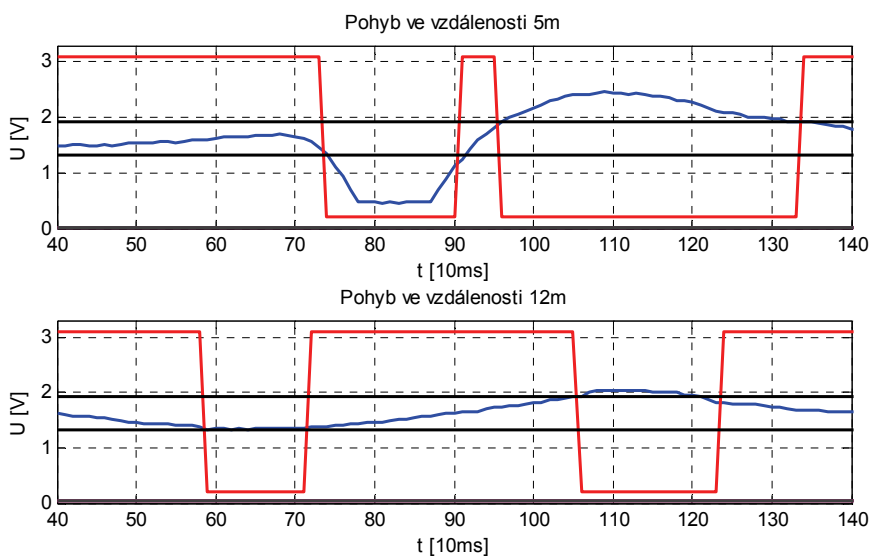
V případě, že se v zorném poli objeví pohybující objekt, začne být křivka analogového výstupu tvarována podle několika kritérií.

- 1) **Směr** - V případě se objekt pohybuje z levé strany senzoru do pravé, křivka začne klesat pod úroveň referenčního napětí. V případě, že se objekt pohybuje z pravé strany do levé, je tomu naopak. Čtenář si může povšimnout, že směr křivky neodpovídá rozboru konstrukce čidla v kapitole 2.4. Směr je opačný, protože signál z čidla byl invertován operačním zesilovačem U1B.



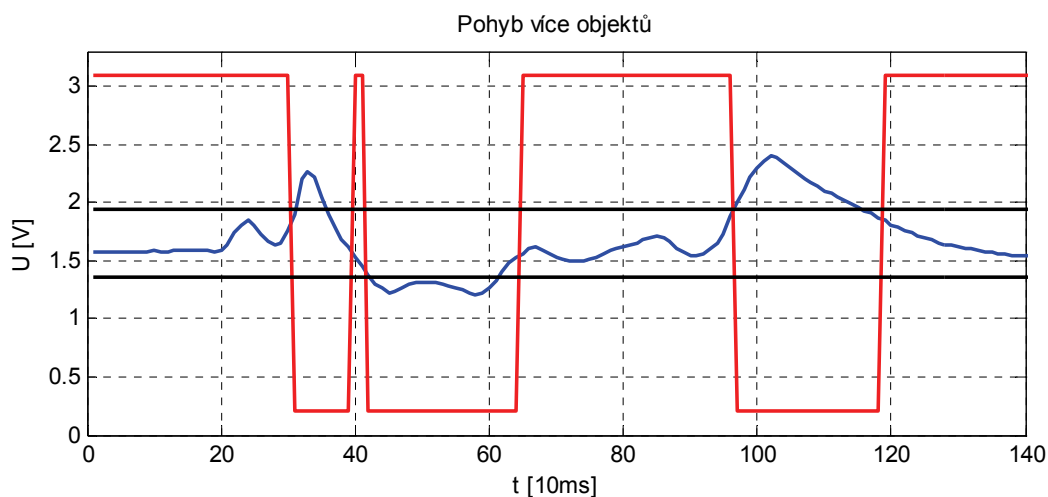
**Obr. 20:** Porovnání výstupu senzoru při různém směru pohybu objektu.

- 2) **Vzdálenost** - Je nepřímo úměrná k velikosti amplitudy signálu. Na spodním grafu obrázku č. 21 je k vidění pohyb na hranici dosahu, kde amplituda jen mírně překročí komparační hranici.



**Obr. 21:** Porovnání výstupu senzoru při různé vzdálenosti objektu.

- 3) **Omezení dosahu** – Při zapnutí jednoho ze tří možných omezení se zmenší velikost zesílení a s ní i velikost amplitudy signálu.
- 4) **Velikost** – Amplituda signálu je přímo úměrná velikosti objektu
- 5) **Rychlost** – S narůstající rychlostí se zvětší strmota křivky i amplituda. V případě, že se bude objekt pohybovat velmi pomalu, nemusí být zaznamenán, ale to je vlastnost společná pro všechna PIR čidla.
- 6) **Úhel** - Největší změna signálu se pak projeví v případě, že se těleso pohybuje přímo před čidlem. S narůstajícím úhlem pak velikost amplitudy klesá dle segmentového rozložení Fresnelovy čočky.
- 7) **Počet objektů** - V přítomnosti dvou a více objektů jsou teplotní změny v čidle sčítány a nelze určit směr pohybu



**Obr. 22:** Reakce senzorů na několik pohybujících se objektů.

Celkově by se dalo shrnout, že z výsledného signálu lze určit pouze směr pohybu jediného objektu, protože ostatní veličiny ovlivňují velikost amplitudy a jsou vzájemně provázány. Například dolní porovnávací graf v obrázku č. 20 by mohl být analogický pro velké zvíře (medvěd), pohybující se v sedmimetrové vzdálenosti, nebo pro menší zvíře (liška), pohybující se ve vzdálenosti tří metrů.

Co se týče rychlosti pohybu, z křivky nelze zjistit přesnou hodnotu rychlosti, ale v případě, že by se objekty o stejné velikosti pohybovaly ve stejné vzdálenosti od čidla, bylo by možné dle strmosti křivky určit, které zvíře se pohybovalo rychleji.



### 3.3 Správné umístění fotopasti

Jak je uvedeno v teoretické části, senzor reaguje na teplotní změny, jenž se projeví v jeho zorném poli. Bohužel tyto teplotní změny nemusí být výhradně způsobeny živým objektem, ale například větrem nebo osvitem. Ne všechny falešné poplachy lze potlačit, ale většinu z nich lze redukovat výběrem vhodného místa instalace fotopasti. Při instalaci musí být uváženy tyto podmínky:

- Senzor nesmí být umístěn tak, aby na něj přímo svítilo slunce. Samotný osvit lze potlačit, nicméně účinek ohřevu pouzdra může senzor učinit po celou dobu osvitu méně citlivým.
- Senzor nesmí být instalován blízko žádného topného tělesa, což v případě umístění do Beskydských lesů není očekávané, přesto je vhodné mít tuto radu na paměti. Přenos tepla sáláním může aktivovat spouštěcí mechanismus.
- Pokud je to možné, fotopast by neměla být vystavena otevřenému prostранství, kde působí mnohem intenzivnější povětrnostní podmínky.
- V případě, že je předpokládán pohyb objektů na určitém místě, například stezka k napajedlu, je vhodné zorné pole přizpůsobit dané lokaci.

### 3.4. Analýza falešných poplachů a možnost jejich potlačení

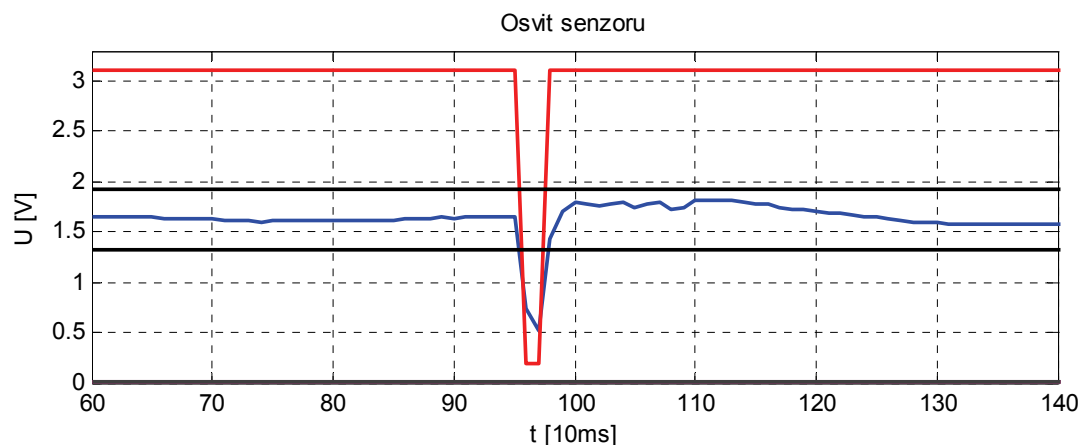
Dodržení výše uvedených postupů značně omezí falešné poplachy, ale jejich úplná eliminace není možná. Nyní budou stručně popsány poplachy, které mohou být přítomny i přes dodržení doporučených rad pro výběr místa uložení.

Falešné poplachy se zřídka kdy projeví, proto jich je naměřeno pouze omezené množství. Naproti tomu naměřených průběhů běžného pohybu je pro porovnání dost. Při měření se experimentovalo s různými směry, rychlostí a vzdáleností chůze od senzoru. V souhrnných tabulkách jsou porovnávány falešné poplachy s nejvíce podobnými průběhy běžného pohybu a se standartními průběhy, kdy se objekt pohyboval různou rychlostí ve vzdálenosti 2 – 7 m (nejpravděpodobnější vzdálenost výskytu).

Program pro mikrokontroler fotopasti je koncipován tak, že sepnutý digitální výstup způsobí zavolání funkce, která začne snímat signál z analogového výstupu po dobu 500 ms v 10 ms intervalech. Z delší analýzy signálu by sice bylo možné získat více informací o průběhu, ale musí být uvážena také doba přípravy fotoaparátu pro pořízení snímku. V případě zdlouhavého procesu by objekt mohl opustit zorné pole fotoaparátu ještě před pořízením snímku, a proto byla celková doba měření 500 ms shledána jako nejvyšší přijatelná. Při testování možných algoritmů se tedy vycházelo z padesáti hodnot naměřených po sepnutí digitálního výstupu.

Pro úplnost by mělo být uvedeno, že spontánnost signálu neumožňuje efektivní využití statistických metod pro analýzu falešných poplachů i v případě, že by byl průběh signálu dlouhodobě zaznamenáván ještě před překročením komparační úrovně. Frekvenční analýza v tak úzkém frekvenčním spektru také není efektivním nástrojem.

### 3.4.1 Falešný poplach způsobený osvitem



**Obr. 23:** Falešný poplach typu osvit.

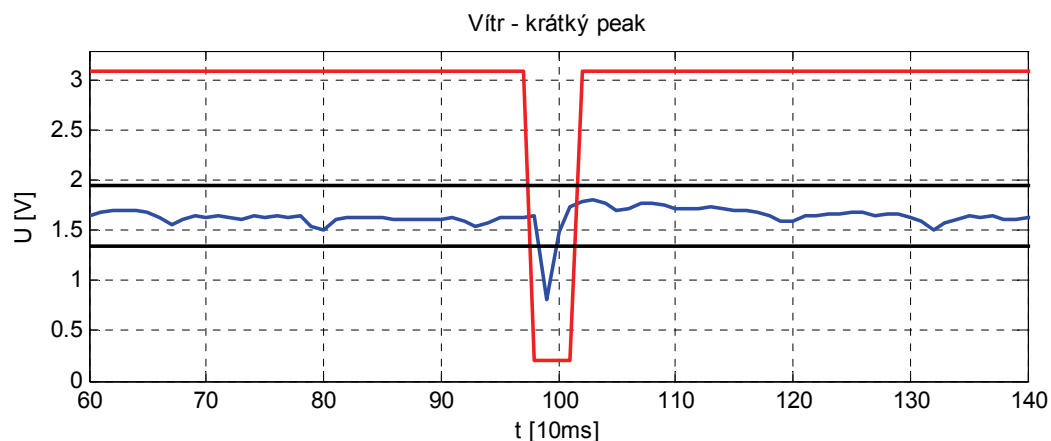
V případě, že bude senzorická část umístěna ve stínu, k osvitu nedojde, ovšem v zimním období se záření může odrážet od sněhu, což místem instalace ovlivnit nejde. Průběh analogové veličiny se v takovém případě projevuje pouze jako napěťová špička, charakterizovaná velkou strmostí křivky při náběhu a krátkou dobou ustálení mezi komparačními hranicemi.

V tabulce č.8 je zobrazen průběh analogové hodnoty deseti naměřených falešných poplachů způsobených osvitem senzoru, přičemž šedě podbarvené pole vyznačují hodnotou, která neleží mezi komparačními úrovněmi. Potlačení bude tedy možné kontrolou délky napěťové špičky.

*tab.7: Naměřené hodnoty pro osvit.*

test	čas (ms)				
	10	20	30	40	50
1	1,23	1,26	1,62	1,73	1,78
2	0,73	0,52	1,43	1,71	1,79
3	0,95	1,51	1,68	1,68	1,68
4	1,17	1,65	1,68	1,72	1,69
5	1,21	1,57	1,73	1,75	1,75
6	1,06	1,43	1,62	1,75	1,75
7	0,93	1,31	1,72	1,79	1,79
8	0,98	1,43	1,56	1,69	1,65
9	1,30	1,58	1,63	1,61	1,65
10	1,23	1,46	1,55	1,52	1,56

### 3.4.2 Falešný poplach způsobený slabým větrem – krátký výkyv



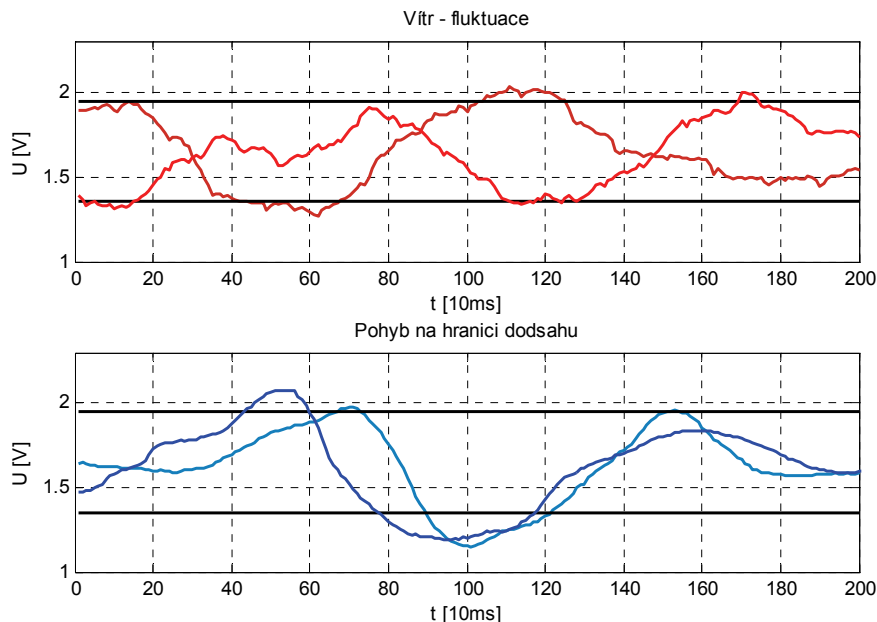
**Obr. 24:** Falešný poplach způsobený výkyvem větru.

Druhý falešný poplach je způsoben mírným nárazovým větrem, působícím přímo na Fresnelovu čočku. Účinek nežádoucího jevu je téměř shodný s osvitem, proto na oba typy falešných poplachů bude použit jediný algoritmus. Z tabulek číslo 8 a 9 (šedě podbarvená pole značí hodnoty ležící mimo komparační úrovně) lze usoudit, že tyto falešné poplachy netrvají déle jak 50 ms. Kdyby se jednalo o pohyb objektu, je možné, že by křivka chvíli setrvala mezi komparačními hranicemi a pak by jednu z úrovní opět překročila. Proto je nezbytné naměřit delší časový úsek pro ujištění, že se signál ustálí. Algoritmus bude tedy vypadat tak, že v první fázi bude naměřeno 20 hodnot a v případě, že jich bude 15 a více ležet mezi komparačními úrovněmi, bude se jednat o falešný poplach.

*tab.8: Naměřené hodnoty pro napěťovou špičku vytvořenou větrem.*

test	čas (ms)						
	0	10	20	30	40	50	60
1	1,10	1,63	1,79	1,80	1,76	1,73	1,71
2	1,06	1,56	1,76	1,78	1,74	1,70	1,76
3	0,80	1,49	1,73	1,79	1,82	1,78	1,71
4	1,25	1,41	1,54	1,56	1,61	1,65	1,77
5	1,11	1,43	1,71	1,81	1,83	1,80	1,80
6	1,24	1,56	1,71	1,74	1,75	1,71	1,71
7	0,48	1,30	1,59	1,81	1,88	1,88	1,84
8	1,18	1,39	1,68	1,70	1,75	1,76	1,74
9	1,06	1,07	1,10	1,35	1,44	1,37	1,37
10	2,11	2,13	2,09	2,06	2,03	1,96	2,00

### 3.4.3 Falešný poplach způsobený slabým stálým větrem – Fluktuace



**Obr. 25:** Porovnání výstupní křivky analogového výstupu senzoru při falešném poplachu a bez něj.

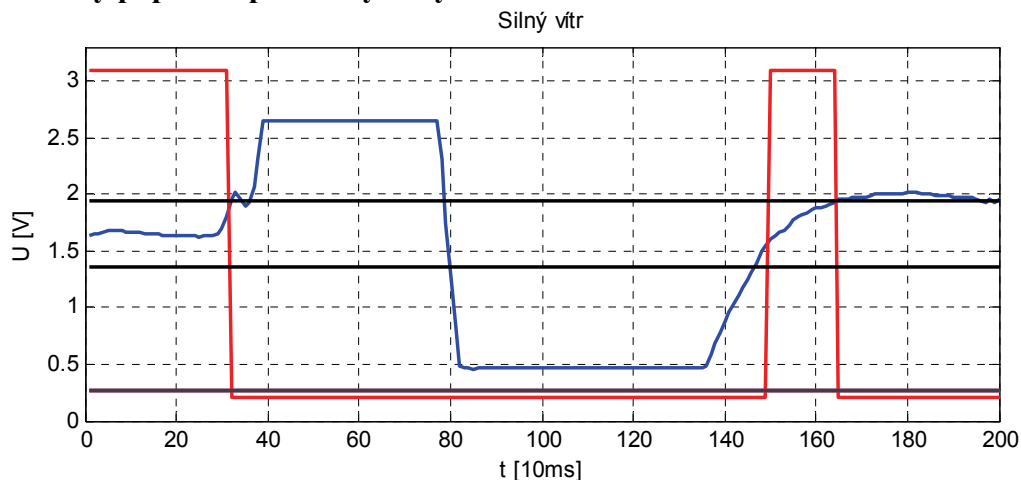
Třetí falešný poplach je způsobený středně silným větrem. Projevuje se fluktuací, přičemž analogová hodnota pouze mírně a krátkodobě překračuje komparační úroveň. Jak je patrné ze spodního porovnávacího grafu, jev se velmi podobá pohybu objektu na hranici zorného pole. Může se zdát, že křivka falešného poplachu je “kostrbatější“, to je ale způsobeno tím, že spodní porovnávací signály byly pořízeny v bezvětří. Za stejných povětrnostních podmínek by byly zkreslené stejně.

Tento nežádoucí typ falešného poplachu nelze redukovat místem instalace, přesto ho lze výrazně omezit zmenšením citlivosti senzoru, čímž bude zkrácený i jeho dosah. V tabulce uvedené ve složce 5 (podsložce Fluktuace) na CD příloze je signál pomocí třídícího algoritmu porovnáván s různými pohyby, bohužel nebyl nalezený společný rys, jenž by tento typ falešného poplachu charakterizoval.

Porovnávací algoritmy byly založeny na myšlence, že pohyb větru by měl být rychlejší než pohyb objektu. To znamená, že by křivka měla mít při působení větru strmější sklon. Algoritmus tedy porovnával rozdíly mezi napěťovými úrovněmi a počítal množství změn přesahujících 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06 V. Při volbě minima 0,02V se vycházelo z faktu, že změny menší jak 0,02V jsou obsaženy ve všech signálech.

V podsložce ve složce 5 (podsložce Vitr) na CD příloze jsou k dispozici naměřené falešné poplachu způsobené větrem ze dne, kdy byly povětrnostní podmínky intenzivnější, ale výsledky algoritmů byly rovněž negativní.

### 3.4.4 Falešný poplach způsobený silným větrem



**Obr. 26:** Falešný poplach typu silný vítr.

Poslední zmapovaný falešný poplach se projevuje při působení silného větru. Analogovou veličinu to pak ovlivní tak, že v poměrně dlouhém intervalu setrvává v saturaci. Při vichřici se s tímto projevem lze setkat velmi frekventovaně a dá se očekávat, že snímky pořízené z fotoaparátu by nemusely být kvalitní. Navíc i funkce samotného senzoru nebude spolehlivá. Proto bude v případě detekce silného větru na 10 minut odstaven spouštěcí mechanismus.

Samotný algoritmus funguje tak, že je u každého vzorku určena vzdálenost od referenčního napětí (absolutní hodnota) a všech 50 vzdáleností je sečteno. Z tabulek si lze povšimnout, že pro falešný poplach je tato hodnota větší jak  $30\text{ V}$ . K poměru k napájecímu napětí je to  $30/3,3 = 9,1 \cdot U_{cc}$ .

*tab.9: Součet vzdáleností od referenčního napětí.*

Typ	Test	Součet odchylek [V]
Silný vítr	1	30,689
	2	39,597
	3	39,0187
	4	30,663
	5	44,29
	6	42,431
Dlouhý pohyb	7	12,07
	8	26,45
	9	21,64
	10	24,843
Pohyb	11	19,242
	12	24,004
	13	20,608

### 3.5 Vývojový diagram použitých funkcí

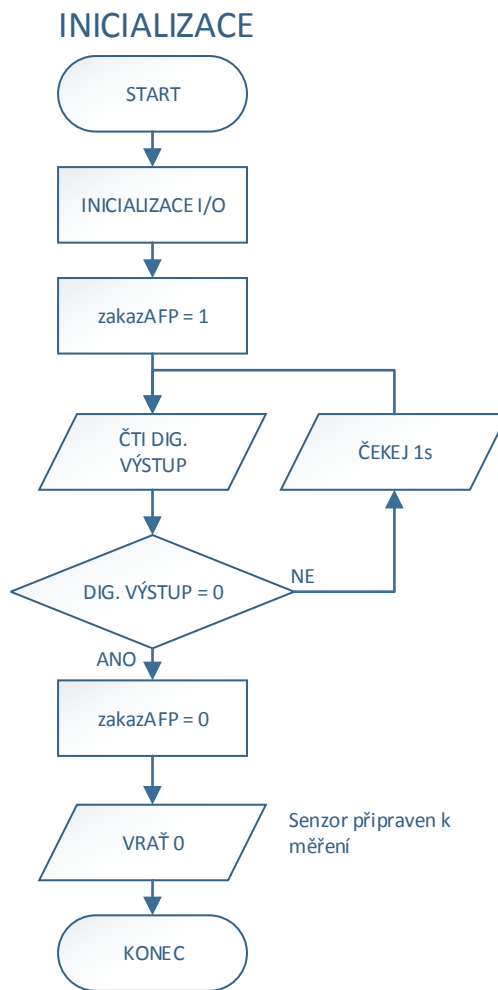
V programu jsou zahrnuty 2 funkce. První slouží k inicializaci a získání informace, zdali je snímač připraven k měření po zapnutí přístroje a druhá slouží k filtraci falešných poplachů.

První funkce je volána po připojení senzoru k napájení. Začíná nastavením zákazuAFP, což je proměnná určující, zdali bude spuštěn algoritmus pro potlačení falešných poplachů. V další části je pak každou vteřinu zjištěn stav digitálního výstupu. V případě, že je na výstupu logická jednička, snímač je připraven k měření, proměnná zákazAFP je resetována a funkce vrátí 0.

Funkce pro filtraci falešných poplachů je komplexnější. Začíná dotazem na stav digitálního výstupu. V případě, že výstup sepnut není, je vrácena 0. V opačném případě program pokračuje na následující podmínku, jenž se ptá, zdali je zapnut zákaz provedení algoritmu. Zákaz může být nastavený z důvodů:

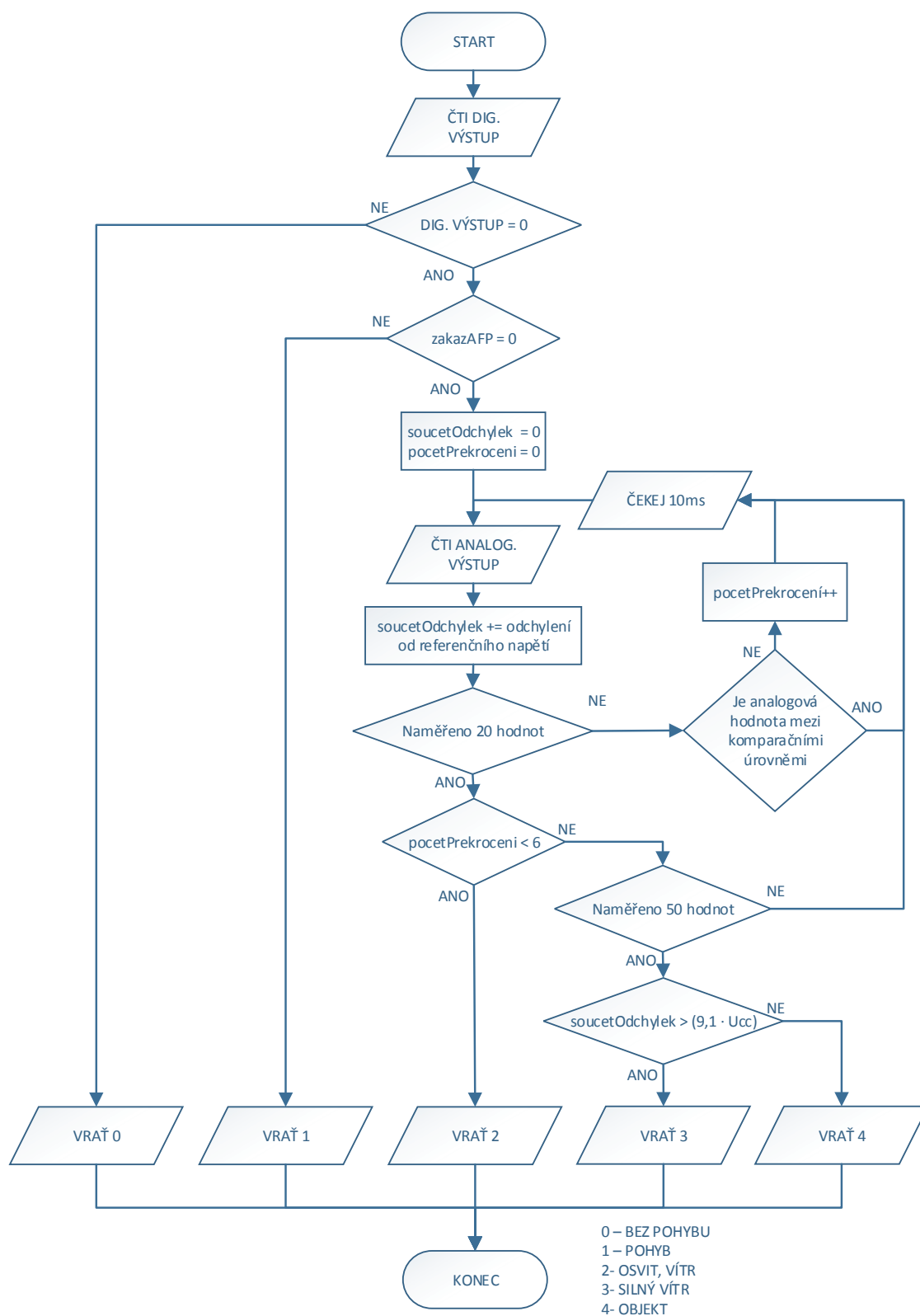
- Je-li senzor připojený k napájení a není ještě připravený pro měření.
- Má-li být přizpůsobeno zorné pole a uživatel chce indikovat reakci senzoru pomocí LED diody. V módu jsou nepotlačené falešné poplachy, takže uživatel může pozorovat, zda-li vybral vhodné místo instalace.
- V některém z předešlých běhů funkce byl zaznamenán falešný poplach způsobený silným větrem. Omezení je aktivováno na 10 minut.
- V případě, že si uživatel přeje algoritmus vypnout.

Není-li algoritmus pro potlačení falešných poplachů vypnut, každých 10 ms je čtena hodnota analogového výstupu senzoru. Při každém čtení je z hodnoty vypočtena velikost odchylky od referenčního napětí a tato velikost je přičtena k proměnné součetOdchylek. Při měření prvních 20 hodnot je pomocí proměnné pocetPrekroceni monitorováno, kolik z hodnot překročilo komparační úroveň. V případě, že jich bylo méně jak 6, funkce vrátí hodnotu 2, značící falešný poplach způsobený osvitom či slabým nárazovým větrem. Kdyby hodnot bylo více jak 6, funkce pokračuje v měření z analogového výstupu pro dalších 30 hodnot. Poté vyhodnotí podmínku, určující zdali je hodnota proměnné součetOdchylek větší jak  $9,1 \cdot U_{cc}$  (Pro  $U_{cc} = 3,3V$  je hodnota rovna 30). V případě, že tomu tak je, proměnná zákazAFP je nastavena a funkce vrací hodnotu 3, reprezentující falešný poplach způsobený falešným větrem. Kdyby podmínka splněna nebyla, byla by navracena hodnota 4, jenž značí pohyb živého objektu a spouští proces focení.



**Obr. 27:** Algoritmus pro inicializaci.

## ALGORITMUS - FALEŠNÉ POPLACHY



**Obr. 28:** Algoritmus pro omezení falešných poplachů.

## 3.6 Implementace algoritmu

V této části bude popsána platforma, jenž byla zvolena pro řízení fotopasti a části kódu, které do ní byly implementovány.

### 3.6.1 Freedom board kl25z

Jedná se o nízko-příkonovou levnou vývojovou desku pocházející z dílen americké firmy Freescale, sídlící v texaském Austinu. Výpočetní jednotku tvoří Cortex-M0+ procesor s maximální taktovací frekvencí 48 MHz. Platforma je určena pro rychlý vývoj různorodých aplikací a obsahuje jak standardní periferie jako A/D převodníky, časovače, čítače a komunikační rozhraní, tak nestandardní periferie jako je akcelerometr, kapacitní dotykový senzor či USB ladící rozhraní OpenSDA. Rozsah operační teploty se pohybuje v rozmezí  $-40 - 105^{\circ}\text{C}$ . [12]

Kód byl napsán a do procesoru implementován pomocí programování prostředí Codewarrior, který je poskytován firmou Freescale.

Pro využití funkcí senzoru jsou z periférií zapotřebí 2 digitální vstupy, 1 digitální výstup, 1 analogový vstup a časovač.

Pro jednotlivé piny jsou pak určeny tyto funkce:

PTC1 – Slouží pro čtení analogové hodnoty ze senzoru. Rozlišení daného A/D převodníku je nastavitelné na 16, 14, 12 a 8 bitů. V režimu pro nízký příkon bude převodník nastaven na 8 bitů.

PTA13 – Čtení digitálního výstupu senzoru. Je nutné zapojit pull-up rezistor.

PTD5 – Čtení pozice přepínače, určeného pro zapnutí testovacího režimu. Je nutné zapojit pull-up rezistor.

PTD0 – Pin nastavený jako výstupní. Určený pro rozsvícení LED diody v testovacím režimu.



**Obr. 29:** Vývojová deska Freescale freedom board KL25Z. [12]



### 3.6.2 Struktura programu

Část kódu, která měla obsluhovat senzor a vyhodnocovat falešné poplachy, měla být vnořena do kódu určeného pro řídicí část. Kód pro řízení fotopasti byl předmětem jiné bakalářské práce. Na základě domluvy s programátorem řídicího kódu bylo stanoveno, že bude vytvořen hlavičkový soubor a soubor s kódem pro senzor zvlášť s tím, že program by mohl obsahovat funkce nadefinované v řídicím programu. Také byla snaha kód řádně okomentovat, aby bylo snadné se v něm orientovat.

Pro správnou funkci programu je důležité nastavit správné hodnoty maker v hlavičkovém souboru. Ty jsou závislé na rozlišovací schopnosti A/D převodníku a lze je dopočítat podle vzorců, které jsou uvedeny v komentářích přímo v kódu. Dále je nezbytné, aby rozsah převodníku byl nastavený na stejné napětí, jako je napájecí napětí PIR senzoru, jinak nebude algoritmus fungovat korektně. Vypočtené hodnoty se dosazují jako celá čísla.

```
//Ucc = 2^n - 1           (celkove napeti je rovno velikosti rozsahu, kde n
//                        je pocet bitu AD prevodniku)
//Uref = 0.5 * Ucc        (referencni napeti je rovno polovine napajeciho)
//HCL = 0.59 * Ucc        (horni komparacni uroven)
//DCL = 0.41 * Ucc        (dolni komparacni uroven)
//maxSumDeviation = 9,1*Ucc (maximalni soucet odchylek)

#define Ucc 255
#define Uref 128
#define HCL 151
#define DCL 105
#define maxSumDeviation 2321
```

Bylo by možné do kódu nadefinovat funkce pro automatický přepoččet hodnot, kód by však zabíral zbytečný prostor v paměti. V tomto řešení stačí vypočítat konstanty při volbě rozlišení převodníku, které se za provozu měnit nebudou, ale to se uživatele týkat nebude.

Po připojení senzoru k napájení musí být zavolána inicializační funkce `InitPIRInterface()`, která nastaví registry pro vstupně-výstupní periferie. Na konci kódu funkce je smyčka, která běží tak dlouho, dokud nepomine počáteční přechodový děj a snímač je připraven pro měření.

```
while (DigitalRead() == 0){Wait(1000);} // Kontrola pripravy cidla
```

Po přípravě senzoru může být volána hlavní funkce pro identifikaci děje v zorném poli `PIRStatus(byte falseAlarmBan)`. Funkci je předán jediný parametr, který určuje, zdali má být zapnut algoritmus pro potlačení falešných poplachů. Pokud je algoritmus zakázán, je čtena pouze hodnota z digitálního výstupu. Ve vývojovém diagramu je tento parametr reprezentován proměnnou `zakazAFP`.

V případě, že algoritmus zakázán není, program pokračuje do smyčky, která ve svém úvodu obsahuje funkci pro čtení z analogového výstupu. Tato hodnota (`actualValue`) je dále zpracována oběma algoritmy.

Algoritmus pro omezení falešných poplachů, způsobených osvitem:

```
if (iteration < 20)                // počet cyklu mensi jak 21
{
    // zjisteni zdali se hodnota nachazi mimo komparacni urovne
    if ((actualValue > HCL) || (actualValue < DCL))
        exceedNumber++;           // inkrementace poctu prekroceni
}
else if (iteration == 20)           // pocet cyklu roven 21
{
    if (exceedNumber < 6)           // mene jak 5 prekroceni
        return LIGHT;              // falesny poplach typu osvit
}
```

Počáteční podmínka zjišťuje, leží-li hodnota analogového výstupu v komparačních mezích. Pokud tomu tak není, je hodnota reprezentující počet překročení inkrementována. Pokud bylo v prvních 20ms počet překročení méně jak 6, funkce vrátí hodnotu 2 (LIGHT).

Algoritmus pro omezení falešných poplachů, způsobených silným větrem:

```
if(actualValue < Uref)
    sumDeviation += Uref - actualValue;
else if (actualValue > Uref)
    sumDeviation += (actualValue - Uref);
```

V podmínce je zjištěno, jestli se aktuální hodnota nachází pod hranicí referenčního napětí. Když je podmínka splněna, je k součtu odchylek přičtena hodnota, vypočtená odečtením aktuálního napětí od referenčního napětí. V případě, že aktuální napětí překročí hranici referenčního napětí, je k součtu odchylek přičten rozdíl mezi referenčním napětím a aktuální hodnotou. Odchyly jsou počítány pro 50 hodnot.

```
if (sumDeviation > maxSumDeviation)
    return STRONG_WIND;
```

Po sečtení všech odchylek je porovnáno, zdali-je tato suma větší než konstanta `maxSumDeviation` parametrizovaná v hlavičkovém souboru. V případě splnění podmínky funkce vrátí hodnotu 3 (STRONG\_WIND) reprezentující silný vítr. V případě nesplnění podmínky je vrácena hodnota 4 (OBJECT), spouštějící fotící mechanismus.

Pro časování je vytvořena funkce `void Wait(word interval)`, jejíž parametr určuje kolik milisekund bude trvat, než program bude pokračovat ve vykonávání následujících instrukcí. Pro časové rozlišení je využita funkce `GetTick()`, jenž v milisekundách vrací dobu od spuštění procesoru. Kompletní kód je umístěn ve složce č. 6 na CD příloze

```
void Wait(word interval)
{
    dword startTime = GetTicks();
    if (interval > 0)
    {
        while ((GetTicks() - startTime) < interval){}
    }
}
```

## 4. Experimenty pro ověření funkčnosti fotopasti

Základní funkce senzoru byla ověřena pomocí 3 objektů: člověk, pes rasy německý ovčák a pes rasy border kolie. V prvotním měření šlo o zjištění, jakým způsobem ovlivňuje velikost objektu chování senzoru. To se projevilo pouze změnou detekční vzdálenosti, která byla pro člověka 12 m, pro německého ovčáka 10 m a pro border kolii 9 m. Změna objektu neměla vliv na tvarování křivky analogového výstupu a kvůli možné komunikaci byla většina simulací běžného pohybu naměřena z chůze člověka.

Při testování algoritmu proti falešnému poplachu typu silný vítr bylo zjištěno, že je nutné konstanty nastavit na přesnou hodnotu napájecího napětí a pak experimentálně doladit konstantu označující maximální součet odchylek (`maxSumDeviation`). Nejlépe algoritmus fungoval v případě, když tato konstanta byla nastavena na  $11 \cdot U_{cc}$  místo  $9,1 \cdot U_{cc}$ . Také by mělo být uvedeno, že algoritmus může jako falešný poplach vyhodnotit rychle se pohybující objekt, nacházející se v naprosté blízkosti senzoru, ale s tímto problémem se lze setkat jenom výjimečně. Žádný z naměřených pohybů by algoritmem potlačený nebyl.

Falešný poplach typu osvit se projeví jen při intenzivním osvětlení objevujícím se zřídka. Pro zjištění funkčnosti algoritmu bylo použito umělé osvětlení, které bylo algoritmem úspěšně detekováno.



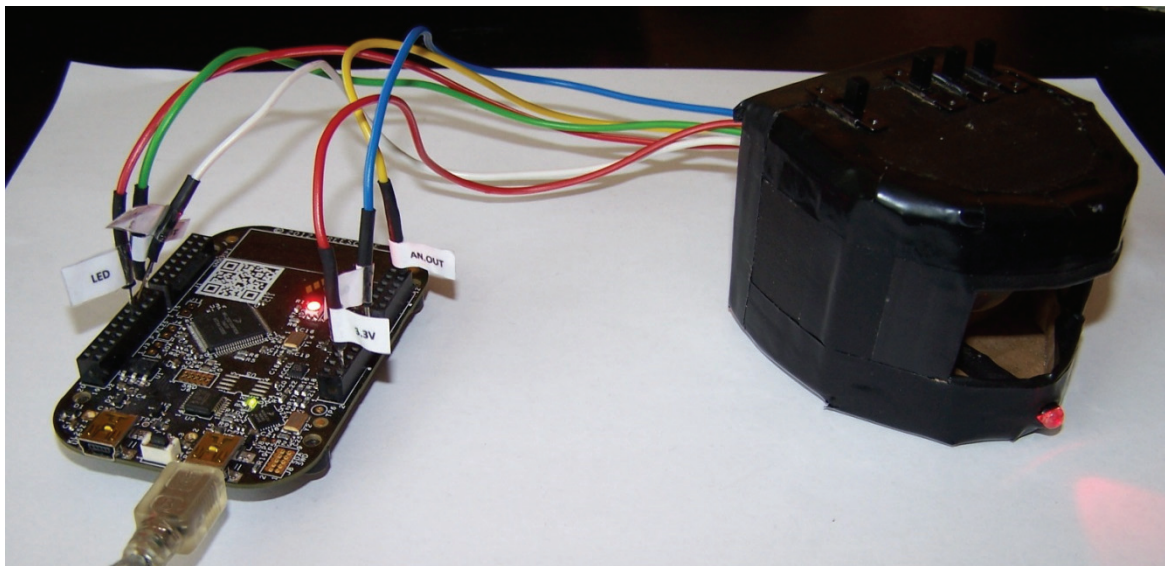
**Obr. 30:** Testování funkce prototypu senzoru.

## 5. Zhodnocení a závěr

Hlavním cílem bakalářské práce byla realizace indikační části fotopasti, přizpůsobené proti nepříznivým přírodním vlivům, které mohou na aparát působit v Beskydech. Navržené pouzdro, umožňující použití senzoru v nehostinných podmínkách, bude ovšem realizováno až s kompletním dokončením řídicí části, která bude dále vyvíjena kolegy. Pro analýzu výše zmiňovaných dějů bylo zkonstruováno prototypové pouzdro, které neposkytuje příslušnou ochranu a krytí pro nasazení v terénu, ale pro zmapování funkce, přechodových dějů a falešných alarmů posloužilo dobře. Co se týče elektronické části, všechny komponenty jsou dimenzovány na operační teplotu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , takže pokles teploty pod hraničních  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  nevyústí v disfunkci senzoru.

Dalším cílem byl návrh algoritmů pro omezení falešných poplachů. Pro poplachy projevující se osvětlením, krátkým výkyvem větru a silným větrem byl nalezen charakteristický rys, na jehož základě byl sestaven funkční algoritmus. Bohužel nejfrekventovanější falešný poplach způsobený středně silným větrem nelze identifikovat, protože se projeví téměř shodně jako pohyb objektu. Co se týče přenositelnosti kódu, algoritmus nebude korektně fungovat na senzory s jinou frekvenční propustí jak  $0,2 - 10\text{ Hz}$ .

Bakalářská práce se sice věnuje návrhu konkrétního řešení, ale i tak může být dobrým průvodcem pro osobu, která by se chtěla zabývat problematikou PIR senzorů.



**Obr. 31:** Prototyp senzoru napojený na řídicí obvod.

## 6. Použitá literatura a zdroje

- [1] TRAILCAMPRO. [online]. [cit. 2013-11-6]. Dostupné z: <http://www.trailcampro.com/>
- [2] PixController: Remote Outdoor Surveillance Camera Systems. [online]. [cit. 2014-01-07]. Dostupné z: <http://www.pixcontroller.com/>
- [3] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications*. 3. vyd. San Diego (USA): Advanced Monitors Corporation, 2004, s. 66-71,76-82,243-251. ISBN 0-387-00750-4.
- [4] SHENZHEN HAIWANG SENSOR CO. [online]. [cit. 2013-11-10]. Dostupné z: [http://szhaiwang.en.alibaba.com/productgroupelist-209562314/PIR\\_Lens\\_Sensor\\_IC.html](http://szhaiwang.en.alibaba.com/productgroupelist-209562314/PIR_Lens_Sensor_IC.html)
- [5] Nicera: NIPPON CERAMIC CO. [online]. 2012 [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: <http://www.nicera.co.jp/pro/ip/ip-01e.html#ip01>
- [6] Katalog: Perkin Elmer: motion detectors [online]. 2012 [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: [http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-4345CAT\\_SensorsAndEmittersInfraredSensing.pdf](http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-4345CAT_SensorsAndEmittersInfraredSensing.pdf)
- [7] Alarm Cctv Kuala Lumpur [online]. [cit. 2013-12-14]. Dostupné z: <http://alarmcctvmalaysia.com/what-is-pir-sensor/>
- [8] BRUUN, Steen. Sensors and Pixel Sizes. [online]. 2009 [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: [http://www.gyes.eu/photo/sensor\\_pixel\\_sizs.htm](http://www.gyes.eu/photo/sensor_pixel_sizs.htm)
- [9] PIHAN, Roman. FotoRoman: Fotografie a fototechniky. [online]. 2009 [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: [http://www.fotoroman.cz/glossary2/2\\_zorny\\_uhel.htm](http://www.fotoroman.cz/glossary2/2_zorny_uhel.htm)
- [10] NATIONAL INSTRUMENTS. NI LabVIEW [online]. 2014 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/labview>
- [11] ARDUINO. Arduino [online]. 2014 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/>
- [12] FREESCALE. FRDM-KL25Z [online]. 2004-2014 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=FRDM-KL25Z](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=FRDM-KL25Z)
- [13] 3D lens: Fresnel Lens, Polatizer. [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.3dlens.com/shop/domeinfraredfresnellens.php>

## 7. Seznam obrázků

<b>Obr. 1:</b> Průřez pyroelektrickým čidlem .....	5
<b>Obr. 2:</b> Náhradní elektrické schéma pyroelektrického filmu .....	6
<b>Obr. 3:</b> Konstrukce pyroelektrického elementu a demonstrace přechodového děje .....	7
<b>Obr. 4:</b> Náhradní schéma elektrického zapojení pro vnitřní uspořádání PIR čidla .....	7
<b>Obr. 5:</b> Standardní pouzdro pro PIR čidlo je TO-5 .....	8
<b>Obr. 6:</b> Modul určený pro kutily a snímač určený pro montáž na omítku .....	9
<b>Obr. 7:</b> Blokové schéma senzoru .....	10
<b>Obr. 8:</b> Fresnelova čočka a její pozorovací úhly segmentů v horizontálním směru .....	11
<b>Obr. 9:</b> Zesilovací a filtrační blok .....	11
<b>Obr. 10:</b> Komparační blok .....	13
<b>Obr. 11:</b> Návrh pouzdra .....	15
<b>Obr. 12:</b> Půdorys pouzdra v řezu .....	16
<b>Obr. 13:</b> Natavení zorného úhlu fotoaparátu a snímače .....	16
<b>Obr. 14:</b> Arduino UNO .....	19
<b>Obr. 15:</b> Zapojení prvků při měření .....	20
<b>Obr. 16:</b> Blokový diagram měřicího programu .....	20
<b>Obr. 17:</b> Čelní panel měřicího programu programu .....	21
<b>Obr. 18:</b> Počáteční přechodový děj senzoru .....	23
<b>Obr. 19:</b> Reakce senzoru na mírné povětrnostní podmínky .....	23
<b>Obr. 20:</b> Porovnání výstupu senzoru při různém směru pohybu objektu .....	24
<b>Obr. 21:</b> Porovnání výstupu senzoru při různé vzdálenosti objektu .....	24
<b>Obr. 22:</b> Reakce senzorů na několik pohybujících se objektů .....	25
<b>Obr. 23:</b> Falešný poplach typu osvit .....	27
<b>Obr. 24:</b> Falešný poplach způsobený výkyvem větru .....	28
<b>Obr. 25:</b> Porovnání výstupní křivky analogového výstupu senzoru při falešném poplachu a bez něj ..	29
<b>Obr. 26:</b> Falešný poplach typu silný vítr .....	30

<b>Obr. 27:</b> Algoritmus pro inicializaci .....	31
<b>Obr. 28:</b> Algoritmus pro omezení falešných poplachů .....	32
<b>Obr. 29:</b> Vývojová deska Freescale freedom board KL25Z .....	33
<b>Obr. 30.:</b> Testování funkce prototypu senzoru .....	30
<b>Obr. 31:</b> Prototyp senzoru napojený na řídicí obvod .....	37



## 8. Seznam tabulek

<b>Tab. 1:</b> Požadavky mající vliv na vývoj indikační části .....	2
<b>Tab. 2:</b> Parametry PIR senzoru .....	10
<b>Tab. 3:</b> Parametry operačního zesilovače HT9254 .....	14
<b>Tab. 4:</b> Parametry PIR čidla LHi 878 .....	14
<b>Tab. 5:</b> Přepočítání rozměrů čipů .....	19
<b>Tab. 6:</b> Vypočtené zorné úhly pro různé ohniskové vzdálenosti fotoaparátu Lumix DMC-LS2 .....	19
<b>Tab. 7:</b> Naměřené hodnoty pro osvit .....	27
<b>Tab. 8:</b> Naměřené hodnoty pro napětíovou špičku vytvořenou větrem .....	28
<b>Tab. 9:</b> Součet vzdáleností od referenčního napětí .....	30



## 9. Seznam příloh – elektronická příloha

Označení:	Obsah:
<b>1 Čidla – řešerše</b>	Složka obsahuje datasheety, katalogy PIR čidel a souhrnou tabulku, kde jsou uvedeny jejich klíčové parametry.
<b>2 Senzor</b>	Složka obsahuje datasheety komponentů, z kterých se skládá senzor a jeho schéma.
<b>3 Návrh pouzdra</b>	Složka obsahuje jednotlivé části navrženého pouzdra ve formátu .ipt a celou sestavu ve formátu .ipa.
<b>4 LabWIEV</b>	Složka obsahuje program pro sběr, který byl využit pro sběr dat.
<b>5 Testy</b>	Složka obsahuje naměřené testy, jenž jsou uloženy v tabulkách.
<b>6 Program</b>	Složka obsahuje kód pro redukci falešných poplachů psaný v jazyce C.